

Tecnología de los medios audiovisuales I

Francisco López Cantos

Tecnología de los medios audiovisuales I

Francisco López Cantos



UNIVERSITAT
JAUME • I

LLICENCIATURA EN COMUNICACIÓ AUDIOVISUAL

■ Codi d'assignatura AB45

Edita: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions
Campus del Riu Sec. Edifici Rectorat i Serveis Centrals. 12071 Castelló de la Plana
<http://www.tenda.uji.es> e-mail: publicacions@uji.es

Col·lecció Sapientia
www.sapientia.uji.es

ISBN: 978-84-692-3985-8



Aquest text està subjecte a una llicència Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual de Creative Commons, que permet copiar, distribuir i comunicar públicament l'obra sempre que especifique l'autor i el nom de la publicació i sense objectius comercials, i també permet crear obres derivades, sempre que siguin distribuïdes amb aquesta mateixa llicència.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/es/deed.ca>

CONTENIDO

TEMA 1. LAS TECNOLOGÍAS DE LA COMUNICACIÓN.	5
1.1. Formas primitivas de comunicación.	6
1.2. Los materiales escriptorios. El libro y la imprenta.	9
1.3. Tecnologías y formación de las industrias de la comunicación.	14
 TEMA 2. LA IMAGEN FOTOGRÁFICA.	 19
2.1. Visión, luz y color.	20
2.1.1. Naturaleza de la luz.	20
2.1.1.1. Ondas electromagnéticas y luz visible.	21
2.1.1.2. Interacciones de la luz y la materia.	23
2.1.2. Visión y percepción.	26
2.1.2.1. El ojo humano y la visión.	27
2.1.2.2. Discriminación de la luminosidad.	27
2.1.2.3. Percepción del color.	29
2.1.2.4. La imagen tridimensional y el movimiento.	31
2.1.3. Fuentes de luz.	33
2.1.3.1. Tecnologías de producción de energía luminosa.	33
2.1.3.2. Caracterización de las fuentes de luz.	35
2.1.3.2.1. Calidad espectral. Temperatura de color y balance de blancos.	36
2.1.3.2.2. Intensidad luminosa. Constancia y eficiencia.	42
2.1.3.3. Equipos de iluminación en fotografía profesional. El <i>flash</i> .	44
2.2. Procesos fotoquímicos de obtención de imágenes.	52
2.2.1. Formación de la imagen fotográfica en b/n.	57
2.2.2. Sensibilidad espectral. Sensitometría.	59
2.2.3. Principios de la fotografía en color.	65
2.2.4. Procesado y ampliación de la imagen fotográfica b/n y color.	68
2.3. La fotografía digital.	73
2.3.1. Exploración de la imagen. Sensores CCD y CMOS.	74
2.3.2. Digitalización de imágenes. Soportes de grabación y sistemas de archivo.	81
2.3.3. Características de las cámaras digitales.	84
2.3.4. Manipulación digital. Software de tratamiento fotográfico.	87
2.3.5. Impresión y distribución de imágenes digitales.	100

TEMA 3. TECNOLOGÍA DEL SONIDO.	104
3.1. Sonido y audición.	105
3.1.1. La onda sonora.	105
3.1.2. El oído humano. Sonido y escucha.	111
3.2. Equipos de producción de sonido.	117
3.2.1. La cadena de producción sonora.	117
3.2.2. Captación del sonido. Microfonía.	119
3.2.3. Mezcla y procesado del sonido.	123
3.2.4. Amplificación y monitorización del sonido. Altavoces.	128
3.2.5. Soportes y equipos de grabación.	130
3.2.6. Producción y postproducción musical.	133
3.3. Transmisión de sonido. La radio.	135
3.3.1. La emisora radiofónica. Estructura básica.	136
3.3.2. Emisión por radiofrecuencia.	137
 TEMA 4. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE VÍDEO Y TELEVISIÓN.	 139
4.1. Captación de imágenes en movimiento.	140
4.1.1. Sistemas y tipos de cámaras de vídeo.	146
4.1.2. El formato de grabación DVCAM y HDV.	148
4.2. Controles básicos de los equipos de captación. Puesta en operación.	150
4.3. La edición de vídeo. Introducción a <i>Final Cut</i> .	155
 BIBLIOGRAFÍA.	 160
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	162

Las tecnologías de la comunicación

RESUMEN

Este primer apartado del programa está dedicado íntegramente a contextualizar históricamente las tecnologías de la comunicación y a poner en valor su papel en la conformación de las sociedades modernas, con el objetivo de aportar un marco adecuado que permita entender la importancia de las tecnologías de la comunicación en nuestras sociedades actuales y en el futuro.

En primer lugar, se realiza un recorrido a lo largo de la evolución de las distintas tecnologías de la comunicación que facilitan el paso de la oralidad a la escritura para, posteriormente, hacer especial hincapié en la evolución de los materiales que sirven de soporte a la escritura y de la trascendencia que tuvo la importación a Europa de las técnicas asiáticas de impresión. Finalmente, se estudia la relación entre las ideas políticas liberales relativas a la liberación de los flujos económicos e informativos y los avances tecnológicos que comienzan la era desde las telecomunicaciones, y se analiza la situación actual determinada por la existencia de redes supranacionales basadas en tecnologías diversas que permiten establecer flujos de comunicación mundiales y, por tanto, producir transformaciones socioculturales y económicas de ámbito global.

1.1. FORMAS PRIMITIVAS DE COMUNICACIÓN

Cuenta Alberto Manguel vivamente el momento en que descubrió que sabía leer al encontrarse, a un lado de la carretera y mientras circulaba en el coche familiar, un cartel en el que había inscritas unas letras enormes y semejantes a las que veía describiendo los dibujos de su libro escolar. Aquel cuaderno de lectura tenía ilustraciones denominadas mediante signos gráficos a pie de página que describían lo que la imagen mostraba. La maravilla ocurrió cuando aquel libro cuyas páginas revisaba una y otra vez sirvieron para que aquellos signos acabaran por convertirse en autónomos facilitando la comprensión de lo que quería decir lo que había escrito en un cartel de un arcén cualquiera en cualquier carretera. Alberto Manguel recuerda el gran descubrimiento: sabía leer, y fue por primera vez consciente de lo que significaba el acto de lectura, en tanto que la adquisición de un sentido nuevo, una nueva forma de interacción con el mundo que ahora se revelaba con un carácter lleno de matices trascendiendo lo que sus ojos, sus oídos, su lengua, su nariz o sus dedos podían aprender de su entorno. El mundo no sólo se experimentaba, sino que además se podía descifrar, leer. Como el astrónomo que lee las estrellas o el granjero que lee el cielo para conocer los riesgos para su cosecha, pero esta vez los signos habían salido de su lugar de referencia, de su libro escolar, para adquirir y dotar al mundo de un significado autónomo.

Pero hasta llegar a idear un sistema de signos autónomos como el que descubrió Manguel y cuenta maravillado rememorando su proceso de alfabetización, la comprensión del mundo estaba sujeta a formas mucho más rudimentarias de comunicación, que podemos clasificar de la siguiente manera en función de su orden correlativo aproximado de aparición. No obstante, cabe resaltar que unas no son sustitutivas de las anteriores, sino que suelen yuxtaponerse y participar conjuntamente en el proceso de desarrollo de la cultura:

- El libro oral
- Monumentos pétreos
- Pinturas rupestres
- Métodos nemotécnicos
- La escritura
- El alfabeto

Por libro oral se entiende la narración de hechos y sucesos verdaderos o fabulados que han llegado a nosotros a través de leyendas y tradiciones mitológicas, es decir, toda la cultura oral que las sociedades arcaicas practicaban como forma de poner en común vivencias y acontecimientos de interés para la colectividad, generalmente guiados por un chamán o maestro de ceremonias y casi siempre de carácter mítico. En pequeñas reuniones de grupo y mediante la palabra y la expresión corporal se narraban las gestas de los ancestros y se escenificaban los rituales mágicos que supuestamente servían para influenciar en un entorno hostil difícilmente comprensible y amenazador.

Los inconvenientes de esta ancestral y tan cotidiana forma de comunicación son, en primer lugar, que con la oralidad la información transmitida está sujeta a deformación y al error, y es muy dependiente de la subjetividad del individuo; por ello no es extraño que los relatos y gestas míticos acaben por tener una muy débil conexión con los hechos históricos y que la efectividad de la información en cuanto a su aplicación se vaya distorsionando y diluyendo. La comunicación oral, en segundo lugar, y no menos importante, al no estar fijada en ningún soporte perdurable más allá de los propios límites del instante en que se produce y acusar la temporalidad de la propia fisicidad del individuo que se comunica por este medio, es difícilmente transmisible más allá del tiempo y el espacio inmediato en que se produce y, por lo tanto, su

valor para constituir el acervo común de una determinada cultura es muy limitado por tratarse de un sistema de comunicación poco trascendente al espacio-tiempo; en consecuencia, las culturas exclusivamente orales están menos capacitadas para potenciar un conjunto de saberes comunes acumulativos que permitan potenciar el desarrollo social en todos los ámbitos.

Una de las primeras manifestaciones primitivas que intentan paliar estas limitaciones de la oralidad consiste en la fijación en soportes pétreos de ciertos aspectos de la cultura de esas sociedades antiguas. Por lo general, a los monumentos pétreos se les atribuye un origen mítico-religioso, como las gigantescas esculturas de la Isla de Pascua, los moái, levantados probablemente en honor a reyes o jefes de clanes familiares muertos y que se tallaban sobre rocas volcánicas después de transportarlas desde el cráter hasta la parte baja de las laderas, donde se enclavaban y erigían invistiéndoles de atributos protectores hacia la comunidad, al tiempo que servían para fijar de manera inequívoca el estatus social de los descendientes del jefe inmortalizado.

Un sentido mítico similar tienen otros monumentos pétreos, tales como los menhires o los dólmenes, realizados para señalar espacios rituales donde celebrar ceremonias de carácter funerario, aunque, sin duda, menos sofisticados que las agrupaciones pétreas en forma de círculos concéntricos denominados crómlech, como el conocidísimo de Stonehenge, en las llanuras de Salisbury, en Inglaterra. Estas particulares manifestaciones pétreas fueron las antecesoras de los ligeros y modernos astrolabios, tan necesarios para la navegación marítima, y, al igual que la brújula y el calendario, un instrumento imprescindible para el cálculo y la medición del tiempo a partir del estudio del comportamiento de los astros, llegando a considerarse las antecesoras de los actuales sistemas de cálculo y artefactos informáticos. Todo ello, en definitiva, con el fin de transmitir, más allá de la inmediatez de la oralidad, mensajes que perduren en el tiempo y que permiten llevar el conocimiento más allá de los límites biológicos de quienes lo ostentan, elaborando así un *medium* que sirve para la comunicación del saber y la expresión cultural.

Otro método de fijación cultural realizado con fines semejantes, las pinturas rupestres, presentan ya características y técnicas expresivas depuradas, en tanto que muestran un nivel de abstracción simbólica muy alto en comparación a las toscas representaciones pétreas totémicas, y, además, introducen estrategias narrativas que permiten construir relatos primarios de hechos cotidianos y contar relatos épicos que ejemplifican y muestran a la comunidad y a sus descendientes. Se representan los momentos más significativos de esa sociedad, ya con materiales mucho más ligeros y diversos, aunque todavía imbuyendo el símbolo en un halo mítico, por ejemplo, representando escenas de caza que se supone que tienen sentido en cuanto a los posibles beneficios en la posterior campaña de caza en la que se embarcará la comunidad. Las pinturas rupestres son el antecedente inmediato de los sistemas de escritura, creados a partir de símbolos pictográficos y, luego, ideográficos, cada vez más abstractos y complejos hasta, finalmente, transitar hacia los modernos alfabetos fonéticos actuales basados en la representación del habla misma.

De manera paralela, y como consecuencia lógica del desarrollo de sistemas comunicativos que trasciendan los límites del espacio y el tiempo, se empiezan a elaborar estrategias nemotécnicas que permitan servir de auxilio en las transacciones comerciales a partir de la fijación de las cantidades y valores que se intercambian. Los incas de Perú utilizaban quipus o nudos en los que se disponían con distintas longitudes, grosores, colores y número varios cordeles sobre uno principal con el fin de, entre otros, inventariar el ganado o realizar cálculos numéricos rudimentarios. Se han utilizado de manera similar chalets o cinturones con cuentas o conchas de vidrio que servían como moneda de intercambio y para registrar acuerdos o transmitir mensajes, incluso utilizados como prendas de matrimonio, pues tenían atribuido un valor simbólico, al igual que la moneda actual.

Entre los soportes más sofisticados se encuentran las tarjas, pequeñas tablas de madera en las que se realizaban incisiones o muescas que servían para registrar la información, de igual manera que las primeras tarjetas perforadas que se utilizaron en los primeros ordenadores. Las tarjas sirven de registro, pero también de recibo, y están consideradas unos soportes que introducen una gran revolución tecnológica, que llega hasta nuestros días, en tanto que, al ser un medio capaz de hacer valer la información a partir de su fijación sobre un soporte manejable e intercambiable que permite su transporte con gran facilidad, se asemeja mucho a los actuales soportes informáticos para el transporte de datos, como las diminutas tarjetas de memoria sólida, construidas según la misma filosofía de facilidad de manejo, transporte y, cada vez más, posibilidad de registro de mayores cantidades de información.

En el fondo, la actual carrera enloquecida de la tecnologías de la comunicación por facilitar la ubicuidad de los saberes a partir de las redes informáticas y el exponencial crecimiento y multiplicación de los sistemas de almacenamiento y su capacidad muestra, salvando las distancias y sin tener en cuenta otros muchos factores, la ventaja diferencial tan importante que supone actualmente el poder disponer de una memoria colectiva perdurable frente a las arcaicas sociedades de tradición oral, y los esfuerzos sostenidos que acaban provocando cambios tecnológicos sustanciales en los soportes hasta hacerlos perdurables en el espacio y en el tiempo. Estos cambios tecnológicos, sin embargo, no se deben considerar una carrera evolutiva desde una óptica positivista que suponga una evolución sostenida y creciente, sino que se deben entender en el contexto multifactorial de cada sociedad particular en cuyo seno se inscriben esos cambios tecnológicos.

Buen ejemplo de ello es, sin duda, la forma en que se desarrollan e implantan los distintos sistemas de escritura en un lento proceso en el que se producen múltiples tentativas con mayor o menor fortuna, de las cuales algunas de ellas todavía coexisten en diversas culturas contemporáneas hasta nuestros días.

Lo más probable es que los primeros sistemas de escritura se iniciaran hacia el milenio v a. C. en la confluencia de los ríos Tigris y Éufrates, en la región de Sumer, cerca del Golfo Pérsico, donde se asentaba la cultura sumeria, que empezó a registrar sobre tablillas de arcilla signos en forma de caña, llamados, por ello, cuneiformes, utilizando una caña con la punta aguda cortada en sección triangular. Lo interesante de estos símbolos es que pasaron de representar directamente los objetos, es decir, de ser pictográficos, a comenzar a representar símbolos o ideas, ideográficos, para, finalmente, convertirse en fonéticos. Al principio se utilizaban unos dos mil signos, pero posteriormente bastaba con unos setecientos, y se comenzó a utilizar principalmente como registro numérico, como simple procedimiento memorístico aplicado a los negocios para, más tarde, servir para la redacción de contratos y fijar aspectos jurídicos. Posteriormente, se empezó a utilizar para narrar y expresar historias de carácter literario, religiosas o épicas, constituyéndose así en la base y fundamento de la cultura.

La escritura cuneiforme desapareció hacia el siglo I a. C., pero durante mucho tiempo coexistió con otros sistemas de escritura, como la egipcia, que también evolucionó desde la escritura ideográfica a la fonética, pasando de jeroglífica a cursiva, y luego convirtiéndose en silábica, y posteriormente alfabética; u otras desarrolladas en culturas milenarias como la china o japonesa, también ideográfico-fonéticas; o en lugares tan distantes como Irlanda o los países escandinavos, donde se desarrollan las escrituras ogámica y rúnica, alfabéticas y de carácter mágico-religioso; o en Sudamérica, donde la cultura maya dispone de toda una serie de instrumentos de cálculo y calendarios, así como de un depurado sistema de fijación de símbolos escritos ideográfico-alfabéticos.

El alfabeto como tal se empezó a conformar en época fenicia: el propio nombre procede de los términos *alef* y *bet*, *a* y *b*, *casa* y *vaca*. Se empezaron a sustituir los sistemas que hacían uso de ideogramas o fonogramas silábicos por un número determinado de fonogramas simples hasta reducir los signos a un total de 22 que, debidamente combinados, podían expresar todas las modulaciones del lenguaje oral. A partir del griego primitivo se introdujeron las minúsculas y hasta un total de 24 signos, aunque se han creado distintos alfabetos, algunos de los cuales perduran con algunas transformaciones, como el latino, que tiene 21 signos en italiano, 23 en portugués o 26 en inglés; el cirílico, utilizado en las lenguas eslavas; el árabe, con 28 consonantes y 3 vocales, y otros ya mencionados como el maya o el que creó *ex profeso* el obispo godo Ulfilas, el ulfilano, con 28 signos, de los cuales 18 eran de procedencia griega y el resto latina, que se utilizó para traducir la Biblia a la lengua goda.

En síntesis, y para concluir este epígrafe, podemos entender la forma en que evolucionan los sistemas de comunicación primitivos en tanto que sistemas tecnológicos que se imponen en diversos contextos y culturas y que persiguen los siguientes objetivos:

En primer lugar, la evolución de las distintas sociedades primitivas requieren métodos nemo-técnicos que permitan trascender los límites biológicos y permitan la comunicación más allá del espacio y el tiempo, originalmente para facilitar, sobre todo, los intercambios comerciales y fijar las normas sociales. En todo ese tiempo se produce una abstracción progresiva de los sistemas de símbolos utilizados y se busca una mayor economía de signos, emergiendo de esta forma tecnologías comunicativas singulares que se implantan con mayor o menor fortuna según su efectividad para los fines de las sociedades donde se desarrollan.

Finalmente, se llega a conformar un sistema comunicativo articulado y perdurable que se fija en soportes cada vez más manejables y en los que se registra con más facilidad mayor información, que además se pueden transportar y conservar de manera eficiente, como veremos en el siguiente epígrafe, del mismo modo que ocurre con las tecnologías actuales en su imparable tendencia a la miniaturización, al incremento de la densidad de almacenamiento y a facilitar su disponibilidad espacial y temporal inmediata.

1.2. LOS MATERIALES ESCRIPTORIOS. EL LIBRO Y LA IMPRENTA

La evolución de los soportes y materiales escriptorios es, sin duda, un elemento clave para entender el progresivo desarrollo sociocultural y económico que van experimentando las sociedades a lo largo de los siglos como consecuencia de las mejoras en la eficiencia para la fijación, el transporte y la conservación de los sistemas comunicativos.

Los primeros soportes para la inscripción de signos que se utilizaron son las cavernas y, posteriormente, se empezó a escribir en la corteza y membrana de los árboles, el *liber*, de donde proviene la palabra *libro*, en el tronco o *caudex*, origen de la palabra *códice*, y en hojas de palmera, tal como hacían los egipcios. Sólo más adelante se empezó a utilizar la tela y el cuero, utilizado por ejemplo por los reyes persas para inscribir los escritos sagrados, para lo cual utilizaron 1.200 pieles, así como láminas metálicas de plomo, oro o bronce, usadas en Grecia y Roma, en esta última conocidas como *diplomas*, por ser dos láminas de plomo sobre las que se inscribían títulos de propiedad u honoríficos. Entre los primeros soportes también se encuentran las tablillas de arcilla o madera, utilizadas inicialmente por sumerios, y la cerámica, que los romanos usaban en forma de concha marina u *ostracas* para inscribir breves textos, entre los que se incluían los que contenían los nombres de los deportados, de los condenados al *ostracismo*, tal como luego derivó la palabra. Las civilizaciones orientales utilizaban igualmente diversos

materiales, entre ellos huesos, conchas de tortugas y bambú, aunque el más importante era la seda, sobre la que se escribía con *tinta china*, una mezcla de hollín de pino y cola que quedaba fijada con gran fiabilidad a la seda.

Antes de todo ello, el material más usado en la Antigüedad era la piedra, en la que se grababan signos simbólicos, en lo que se denominaban *petroglifos*, en general de carácter conmemorativo o ritual. Era habitual la inscripción sobre piedra en templos, paredes y tumbas, y hay numerosos testimonios que aún se conservan, por ejemplo en la civilización egipcia, así como leyes y convenios encontrados en las polis griegas, o relatos míticos, tal como se cuenta en la Biblia de las tablas petreas que se entregaron a Moisés con los Diez Mandamientos. Eran muy habituales las *estelas*, monumentos conmemorativos fijados sobre una piedra cilíndrica o cuadrangular, que si era más corta se denominaba *cipo*, encontradas en multitud de civilizaciones indoeuropeas, orientales e incluso sudamericanas, que las utilizaban para inscribir datos de la fundación de las ciudades y acontecimientos importantes. Entre las *estelas* más conocidas se encuentra el célebre *Código de Hammurabi*, con las famosas leyes que el rey persa aplicaba, o la *Piedra Rosseta*, que contenía el mismo texto en escritura jeroglífica, demótica y griega y fue descifrada por Champollion.

También el uso del papiro estuvo muy extendido en la Antigüedad debido a la abundancia de la planta de la que se obtenía, que crecía especialmente a orillas del Nilo. De ella se utilizaba el tallo, que cortaban en tiras finas que luego secaban y ponían en capas superpuestas perpendicularmente, logrando una gran adherencia. Las hojas, después de secarse al sol, se encolaban para que la tinta no se difuminase al escribir y, finalmente, se pegaban unas a otras en largas fajas que se disponían en rollos o volúmenes. El papiro fue utilizado hasta el siglo XI por la curia romana, como soporte de prestigio para la inscripción de documentos oficiales, aunque su uso masivo para la escritura sólo abarcó hasta el siglo IV d. C., al ser sustituido por el pergamino. Ya entonces, había varios tipos de papiros, desde el de mayor calidad, utilizado para la escritura hierática o sagrada, hasta el más grueso, empleado para los embalajes. Importantes obras griegas fueron escritas en papiro, como la *Constitución de Atenas* de Aristóteles o algunas obras dramáticas de Sófocles, además de los encontrados en los templos egipcios.

El pergamino, por su parte, se introdujo progresivamente desde el milenio II a. C. hasta imponerse como soporte escriptorio a lo largo del siglo XIII d. C., en que aparecen incluso gremios industriales en diversas ciudades de Centroeuropa. Al parecer, su nombre se debe a Eumenes II de Pérgamo, quien intentó emular la célebre Biblioteca de Alejandría y, para ello, impulsó la fabricación de este material dando lugar a que, hacia el año 150 d. C. hubiera una importante industria de producción de este material. El problema de este material era que se realizaba con pieles de reses, de las que se obtenía la vitela, una parte muy flexible que se extraía de animales muy jóvenes o neonatos. Esta piel se había de limpiar, adobar y estirar y, una vez pulimentada con piedra pómez, quedaba dispuesta para escribir sobre ella, pero a un alto coste de fabricación, pues un código de unas 200 páginas requería alrededor de 80 pieles de becerros recién nacidos. Por ello, al principio, su uso estaba reservado sólo a unos pocos, sobre todo a los monasterios, habida cuenta del contexto político-religioso del medievo; aunque hacia el siglo XII empezaron a escribirse códigos fuera de los conventos y la industria del pergamino se expandió y comenzó a hacerse, como la cultura, laica. La ventaja que tenía el pergamino frente al papiro era su flexibilidad y solidez, y que se podía raspar y volver a escribir sobre él, incluso por las dos caras, o cortar en las dimensiones que se quisiera sin dificultad, lo cual facilitó que este material dispuesto en hojas sucesivas sirviese para confeccionar los primeros soportes en forma de libro, los códigos, aunque pronto sería sustituido por el papel, mucho más económico y fácil de producir.

El papel fue inventado en China alrededor del año 150 a. C. y, aunque tardaría más de mil años en llegar a Europa, cuando se extendió más allá de Oriente su imposición fue inmediata. Llegó hasta Occidente a través de las rutas comerciales del norte de África, pasando por Xàtiva desde la ruta de Fez, donde se estableció el primer molino de papel en el año 1150, y por Venecia hacia el centro de Europa, llegando a las ciudades alemanas de Colonia en el año 1320 desde Xàtiva, y Nuremberg en 1391 desde Venecia. Luego pasó a Inglaterra y Estados Unidos en 1494 y 1690 respectivamente, estableciéndose definitivamente como el soporte escriptorio por excelencia hasta nuestros días. El papel se realizaba utilizando fibras textiles procedentes del bambú en sus inicios en China, y después de otras plantas como el yute, el lino, la caña, el trigo o el arroz, aunque las mejores eran el cáñamo y el algodón. Al final del siglo XVIII se mecanizó la fabricación con el invento de la máquina continua de Robert, en 1797, y se empezaron a desarrollar tamaños variables de hojas, así como a investigar nuevas materias primas y pigmentos para mejorar la blancura. Aunque no alcanzaba la durabilidad del pergamino, la industria papelera se extendió de manera rápida debido al desarrollo de la industria de la cultura escrita, iniciada con la invención de la imprenta de tipos móviles por Gutenberg en 1452 y que experimentó un impulso sin precedentes cuando, a partir de 1605, comenzaron a publicarse hojas de noticias, gacetas y otros productos impresos de tiradas masivas, como almanaques y calendarios, de gran éxito comercial en una sociedad que comenzaba a protagonizar la revolución industrial que conformaría el mundo contemporáneo.

El desarrollo de la cultura, como ya dijimos, comenzó hace milenios con el perfeccionamiento de la escritura y la utilización de nuevos soportes más perdurables y manejables, y en todo el proceso la disposición a modo de hojas superpuestas de las primeras tablillas de arcilla, madera o marfil utilizadas por babilonios, asirios y las civilizaciones grecoromanas, a modo de libro tal como lo conocemos hoy, constituye una estrategia de almacenamiento y distribución de información que, sin duda, se torna como un elemento clave para entender los procesos posteriores. Las primeras tablillas eran de arcilla, medían de 2 cm a 3 cm, y una vez escritas cocían al horno. Se han encontrado de todos los géneros (épicas, históricas, jurídicas, matemáticas, astronómicas). Sumerios, asirios y babilonios disponían de talleres con escribas para preparar las tablillas, y fueron los primeros soportes utilizados en la enseñanza por alumnos que debían aprender las artes de la escritura, por su facilidad para ser borradas. En Roma eran de madera dura y se ahuecaban y cubrían de cera para escribir con un estilete; si se unían dos, se llamaba *díptico*.

Una segunda forma de almacenamiento efectivo de la información la constituían los rollos o volúmenes, del latín *volvere* o enrollar, y se llamaban así porque el papiro o pergamino se envolvía en torno a una varilla metálica llamada *umbilicus* (ombligo); se han encontrado algunos del año 2400 a. C., aproximadamente. Una vez terminado el rollo se colgaba una etiqueta o *index* en la que se indicaba el autor y el título y se guardaba en cajas que se amontonaban en las bibliotecas. En el rollo se escribía en columnas, entre 25 y 30 por hoja y de derecha a izquierda, utilizando juncos cortados y una especie de tinta engomada de carbón vegetal. En Egipto, al lado de los cadáveres se depositaban en rollos los textos sagrados con las plegarias para proteger a los muertos, como por ejemplo el *Libro de los muertos*, conocido desde el II milenio a. C. Los rollos o volúmenes, sin embargo, eran de lectura incómoda y fueron sustituidos por el código, que utilizaba otro material y otro formato.

Como dijimos, la palabra código procede de *caudex*, el tronco de los árboles, aunque los códigos mejor se definen por tratarse de *liber quadratus*, pues sus hojas aparecen dobladas y agrupadas superpuestas, poniendo al conjunto tapas de madera. El código se puede confundir con los manuscritos, ya que en sus inicios su impresión no se realizaba de manera mecanizada, aunque también había manuscritos en rollo y por eso no son equiparables ambos términos. Hasta el siglo V el material escriptorio del código era pergamino o papiro, y estos *liber*

quadratus se producían en los monasterios, en grandes salas llamadas *escriptorio*, donde se sentaban los amanuenses o escribas o pendolarios (derivado de la pluma de ave que utilizaban para escribir). Entre los signos alfabéticos dejaban espacios en blanco para que los llenasen miniaturistas e iluminadores de imágenes. Con ellos se empezaron a desarrollar los primeros libros, totalmente escritos y pintados a mano, muchos de los cuales se reutilizaban, como los palimpsestos (*codices reescripti*), es decir, los pergaminos se raspaban de nuevo y se reescribía sobre ellos, muchas veces ocultando bajo el raspado obras de gran valor que sólo se han ido descubriendo en los últimos tiempos con técnicas de exploración avanzadas.

De la misma manera que las tablillas supusieron la primera forma de organización del soporte de escritura en forma de libro, los conjuntos de ellas se constituyeron en bibliotecas, es decir, repositorios de información libraria donde se acumulaba el legado cultural de generación en generación. Al parecer, la más antigua fue la de la ciudad de Ebla, en Mesopotamia, destruida a finales del siglo XVIII a. C., aunque luego fue reconstruida y de nuevo, y definitivamente, hecha cenizas en el siglo XVI a. C. No obstante, se han recopilado unos 17.000 fragmentos de tablillas en buen estado de conservación, equivalentes a unos 4.000 documentos. Se ha encontrado documentación de la existencia de talleres de copistas en los alrededores de Babilonia y otras ciudades mesopotámicas, hacia el siglo VII a. C., así como otros centros del conocimiento alrededor de bibliotecas fundadas en ciudades como Tebas, hacia el año 2000 a. C., y otras ciudades egipcias alrededor de los templos, en las que se guardaban papiros. Sin duda, la más importante de todas ellas fue la de Alejandría, fundada por Ptolomeo I el año 290 a. C., que llegó a contener más de 700.000 volúmenes, hasta que ardió en el año 48 d. C. y posteriormente fue destruida totalmente por los cristianos en el año 391 d. C.

Se conoce la existencia de importantes bibliotecas diseminadas por los centros de poder económico y cultural de todo el Mediterráneo y Asia Central, como la ya mencionada de Pérgamo, y tuvieron gran florecimiento sobre todo en Grecia, que abrió en Atenas la primera biblioteca pública conocida en el año 330 a. C., labor continuada luego por la civilización romana, llegando a contabilizarse hacia el siglo IV de nuestra era unas 30 en la ciudad de Roma. A partir de la expansión del cristianismo se empezaron a fundar bibliotecas en los monasterios y centros catedralicios, hasta que hacia el siglo XIII comienza el declive de la cultura monacal a favor del laicismo y se empiezan a desarrollar las primeras universidades, entre ellas las de La Sorbona, Oxford, Bolonia o Salamanca, facilitando el desarrollo de circuitos culturales laicos que acabarán por ser el germen del nuevo humanismo renacentista que se impondría unos siglos después en todo Occidente.

Pero hasta esa época todos los soportes escriptorios estaban basados en papiros y, sobre todo, pergaminos que pugnaban con la incipiente industria del papel que pretendía sustituir todos los soportes antiguos. La propia palabra *papel* viene de *papiro*, aunque, como ya hemos señalado, su invención se produjo en China y no en Egipto, a pesar de que se asemejaba en cierta medida al estar hecho de fibras vegetales. Con todo ello, el desarrollo del papel como soporte de escritura se produjo de manera simultánea al desarrollo de sistemas de impresión automatizada que permitiera aumentar la productividad, relegando cada vez más el libro manuscrito ante el empuje de la técnica espoleada por la incesante demanda cultural de materiales impresos.

El gran avance industrial se produjo con la invención de la imprenta de tipos móviles en 1492 con la que Gutenberg imprimió la Biblia de 42 líneas con un éxito sin precedentes en la distribución, convirtiendo el primer libro de la historia impreso por este método en un auténtico *bestseller*. La tecnología era una adaptación de la xilografía, inventada en China hacia el siglo VI a. C., aunque no llegaría a Europa hasta el siglo XVI. También era conocida en China la impresión con tipos móviles, utilizada al menos desde el año 950 a. C.

El sistema xilográfico consistía en rebajar un bloque de madera con el motivo que se va a imprimir (letras, figuras o combinación de ambas), que luego se entintaba y con una prensa se aplicaba al papel, de manera que se podía duplicar tantas veces como se quisiera. Los libros xilográficos chino y japonés tenían forma de rollo, aunque en Europa cuando se adaptó la técnica adoptaron la forma de códice. El primer libro europeo hecho de este modo fue la *Biblia Pauperum*, impresa en 1430. La técnica de tipos móviles se utilizaba igualmente mucho antes en China, y ya desde el año 1045 empezaron a fabricar caracteres de arcilla, y poco después de estaño, madera y bronce, que serían importados desde China a Europa una vez abiertas las rutas orientales, especialmente a partir del año 1250, en que se empiezan a consolidar comercialmente rutas estables entre ambos mundos. Gutenberg no hizo más que adoptar esta técnica, con gran éxito sin duda, pues se impuso rápidamente en toda Europa haciendo florecer una pujante industria de la cultura.

El invento había llegado en 1462 hasta Italia, y aproximadamente 10 años después se extendió hasta París y España y no tardó mucho en llegar al otro lado del Océano; en 1539, a México y después, en 1639, a Cambridge, en Estados Unidos, expandiéndose así por todo el imperio colonial de las grandes potencias europeas facilitando la expansión de las ideas, de manera paralela a los sucesivos intentos de censurar las mismas desde la autoridad eclesiástica, en episodios lamentables como el conocido *Índice de libros prohibidos* que ordenó confeccionar Pablo IV en el año 1559 y que El Vaticano dejó de publicar muy recientemente, en 1968.

A los libros impresos con el sistema de tipos móviles, a los que modernamente se ha denominado *incunables* si fueron publicados en el período de 1450 a 1500, a partir del siglo XVII se le sumaron nuevas formas de publicación en forma de hojas de noticias y gacetas semanales destinadas a la emergente burguesía que se iba conformando alrededor de las ciudades, quienes recibían con anhelo noticias de interés comercial y cultural que comenzaron a configurar una suerte de nuevo espacio público en el que no solo la aristocracia y los poderes militares y religiosos tenían cabida. Este incipiente fenómeno se intensificó de manera irreversible con la aparición de los primeros periódicos de noticias a partir de mitad del siglo XVII en Leipzig y, poco después, en Londres (1705), Madrid (1758) o París (1777). En 1788 nació *The Times*, seguramente el periódico más influyente de la época y cuyos ecos todavía resuenan con fuerza en el ámbito socioeconómico mundial.

El desarrollo de esta emergente industria de la información escrita imponía aumentar la productividad de la impresión y, a la máquina de papel continua ya mencionada de Robert, pronto se añadió un nuevo avance tecnológico que impulsaría la industria sobremanera, la impresión litográfica, inventada en 1796. Este método aprovecha la incompatibilidad del agua y la grasa utilizando cilindros con la forma impresora que se desplazan a lo largo de la superficie del papel y se entintan sólo donde el compuesto graso de tinta no es repelido por el agua, facilitando así la transferencia del motivo a imprimir sobre el papel de manera precisa. En 1827, *The Times* adoptó un sistema basado en una máquina de vapor de 4 cilindros, y a partir de 1847 se consiguió hacer moldes curvados para adaptarlos a máquinas rotativas, con lo que la impresión se pudo empezar a realizar a gran velocidad. A ello se añadió, en 1884, el invento de la linotipia, de manera que la composición de líneas se hacía de manera mecánica y ya se obtenían dispuestas adecuadamente sobre un bloque de plomo que servía de molde para obtener la forma impresora. En 1904 se desarrolló la prensa *offset*, mezcla de todas estas técnicas, y en 1923 se inventó la fotocomposición, que utilizaba soportes fotosensibles para elaborar la forma impresora a situar en los cilindros de la prensa, con lo cual la productividad se multiplicó exponencialmente e impulsó de manera formidable la industria de la prensa escrita, aunque ya para esa época estaba más que consolidada a nivel mundial y resultaba imprescindible en el entorno geopolítico.

Durante todo este vasto período, para concluir, se asiste a un imparable desarrollo de tecnologías de producción industrial que acompañan la utilización de soportes cada vez más duros, manejables y ligeros. Las posibilidades de copia y distribución masiva del conocimiento alcanzan tal grado de perfección tecnológica que permiten un acceso al flujo comunicativo exento de limitaciones económicas o espaciales, facilitando la distribución del conocimiento de manera hasta entonces desconocida. Sin duda, junto a otros aspectos que estudiaremos a continuación, la expansión de la imprenta fue una de las principales causas de una profunda transformación socioeconómica y cultural sin precedentes que todavía hoy conforma nuestras sociedades contemporáneas.

1.3. TECNOLOGÍAS Y FORMACIÓN DE LAS INDUSTRIAS DE LA COMUNICACIÓN

Además de los aspectos netamente tecnológicos, la transformación social producida durante los últimos siglos es el resultado de multitud de factores socioeconómicos y corrientes ideológicas y culturales que convergen de manera compleja, y a veces pugnan, no siempre de manera cómoda, por imponerse a lo largo de la reciente historia contemporánea.

Sin intentar agotar un período que abarca varios siglos en unas pocas líneas, pero facilitando la acotación de los factores más relevantes que intervinieron en la evolución de unas sociedades medievales a nuestras actuales sociedades modernas, es necesario reseñar la importancia de las ideas divulgadas, precisamente gracias a los soportes librarios, por autores ilustrados, como por ejemplo uno de los responsables de la redacción de *La Enciclopedia*, compendio de todo el saber de la época, Denis Diderot, quien en 1763 sentenciaba en defensa de la cultura del conocimiento: «Proteja, señor, todas sus fronteras con soldados, ármelos con bayonetas para que rechacen todos los libros peligrosos que se presenten; pero esos libros, disculpe la expresión, pasarán entre sus piernas y saltarán por encima de sus cabezas llegando hasta nosotros» (*Leerte sur le comerce et la librairie*), que reforzaba bien una de las ideas fundamentales de la Ilustración, que entendía el *intercambio* como creador de valores, incluso el intercambio comercial como luego defenderían los liberales.

No sólo eran tiempos de liberar los flujos comunicativos, es decir, facilitar la libertad de pensamiento y de opinión, sino que también, y para ello, era necesario facilitar la movilidad de personas y mercancías y, por tanto, la ingeniería de caminos, canales y puertos se situaba en el vértice de la nueva estrategia de desarrollo económico y cultural, intentando, tal como se esperaba de los ingenieros, *dominar la mala naturaleza* para unir, vincular y asegurar la fluidez en la circulación de personas y mercancías, un deseo no muy alejado de lo que ha venido promoviendo la Unión Europea desde su concepción, aunque ya es algo antiguo.

A los deseos de liberar el conocimiento y expandir la cultura escrita al tiempo de facilitar infraestructuras de transporte ágiles y globales, pronto se unieron nuevas tecnologías que permitían soñar, tal como hacía el introductor del telégrafo en Francia («Los pueblos modernos mediante la imprenta, la pólvora, la brújula y la lengua de los signos telegráficos han hecho desaparecer los mayores obstáculos que se oponían a la civilización de los hombres»), en un entorno que se estaba globalizando a marchas forzadas, para lo cual fue necesario establecer un sistema métrico universal, aprobado en 1792, y un sistema monetario fraccionado que permitiera el óptimo intercambio comercial.

Los adalides del liberalismo, Adam Smith y John Stuart Mill, comienzan a establecer los principios económicos del librecambio que permiten el desarrollo de las naciones, según una particular concepción no exenta de problemas que después sería revisada sin mucho éxito por Marx

y Engels a principios del siglo xx, y que hoy conforman nuestras sociedades globalizadas. Estos principios, sin intentar agotarlos, se podrían resumir, aun sabiendo que todo resumen supone una inevitable simplificación, en que un mercado global en que se permitiera la libre circulación de flujos de capital y personas y que mejorase su productividad gracias a la división del trabajo, además de la necesaria abolición de los impuestos sobre el saber para facilitar la generación de conocimiento y la creatividad, sería el sistema de crecimiento más eficiente posible. Para ello, además, era necesario el desarrollo de infraestructuras y la normalización, y así, comenzaron a desplegarse vías férreas y adoptar normas internacionales, a las que, por cierto, España y Rusia renunciaron por motivos de seguridad nacional (cuestión que todavía genera problemas de comunicación en nuestro país respecto a Europa, aunque se están subsanando con las nuevas líneas de alta velocidad). De este modo, en 1840 se creó la Unión Telegráfica Austro-alemana y en 1865, la Unión Telegráfica Internacional, con el objetivo de establecer procedimientos y normas comunes para hacer eficiente el flujo de más de 30 millones de transmisiones telegráficas que se producían en 1870, según los datos que se tienen. Para el despliegue de su ferrocarril a partir de 1830, imprescindible para conectar los centros mineros de producción de energía que alimentaban la industria creada alrededor de las ciudades, tenía necesidad de un uso horario normalizado y adoptó el meridiano Greenwich como punto de referencia, asumido como tal, aunque a regañadientes, por la comunidad internacional a partir de 1884.

Pero Londres era el centro mundial de las materias primas, pues su Imperio controlaba las rutas y territorios de Oriente Próximo y mantenía relaciones estupendas con el área anglosajona y la emergente potencia que entonces eran los Estados Unidos. Cuando se empezaron a desplegar las redes de telecomunicación por cable, a partir de 1851, los británicos eran la única potencia que disponía de una flota naviera preparada para extender el tendido de cable por todos los confines del Imperio y, además, tenía ya la infraestructura política necesaria para ello. De este modo, el centro financiero de Londres se unió con París en ese año 1851 a través de Calais. En 1866 se inauguró la línea con India a través de Malta y Alejandría, y en 1870 Londres ya estaba conectada por vía telegráfica con Australia, China y América del Sur, lo que le permitía reforzar su posición de centro financiero mundial y mantener el control sobre las materias primas de los territorios emergentes. Poco después extendería su red de cable hacia África y, a partir de 1903, cuando Estados Unidos unió por el Pacífico San Francisco con Honolulu y Manila acabó de conformarse una red de comunicaciones global que permitía la transmisión de información de manera casi inmediata a los centros de decisión de todo el mundo.

Por esas fechas, en 1901, Marconi, como ya dijimos, inició el desarrollo de las radiocomunicaciones al conseguir transmitir la letra «s» a través del Atlántico, aunque la filosofía que imperaba en el reparto del espectro radioeléctrico era que «el primer llegado sería el primer servido», con lo cual las grandes potencias pronto acapararon el control mundial sobre las redes de información. La invención de la radio provocó no pocos enfrentamientos y tensiones internacionales, ya que el bloque socioeconómico centroeuropeo y el anglosajón pugnaban por obtener la supremacía comunicativa, iniciando una carrera que años después se reeditaría en numerosas ocasiones, entre ellas el conocido uso propagandístico de las ondas que se hizo durante la II Guerra Mundial o la posterior carrera por el despliegue de satélites geoestacionarios de telecomunicación, a partir de 1956, que todavía llega hasta nuestros días con el nuevo sistema de posicionamiento global que se está desarrollando en Europa frente al sistema GPS norteamericano, y no digamos la lucha por el control de las redes de Internet que se están produciendo entre Occidente y Oriente en estos últimos años.

El inicio de las industrias culturales y la pujanza que la cultura anglosajona impuso en todo Occidente estaba fundamentado, en este sentido, en la potencia industrial de que hacía gala el Imperio Británico, que se vería reforzada después de dos guerras mundiales que devastaron

al resto de potencias facilitando que fueran precisamente los aliados, Estados Unidos y Gran Bretaña, quienes reconstruyeran de nuevo la maltrecha civilización occidental a cambio de consolidar, más si cabe, su situación como primeras potencias mundiales, aspecto que se refleja en todos los organismos internacionales creados como consecuencia de ello, desde la ONU a la OCDE o el Fondo Monetario Internacional, además de constituirse en el epicentro financiero mundial los mercados de Londres y Nueva York.

Esta supremacía económica y geoestratégica estaba, además, reforzada por la particular expansión de su industria de la información a través de los medios de comunicación escritos, de la prensa, y de sus agencias de publicidad y *marketing*, que pronto situaron delegaciones en lugares estratégicos de Europa y todo Occidente.

Durante el período de 1830 a 1850 se crearon las grandes agencias internacionales de prensa, y hacia 1875 estos grupos eran mundiales y se empezó a establecer una suerte de reparto de territorios entre las potencias económicas de la época. De este modo, en 1835 se creó Havas, que luego sería France-Press; en 1849, la alemana agencia Wolf; y en 1851, la británica Reuters. Poco antes, en 1848, se habían creado Associated Press y United Press en Estados Unidos y, entre todas, se repartían el control del flujo mundial de información. A saber, Havas se ocupaba de todo el mediterráneo, Indochina y América Latina; Wolf, de Europa Central y Septentrional, y Reuters, de todo el Imperio Británico. Oriente Medio era de explotación conjunta, pues todas las grandes potencias tenían intereses en la zona y, aunque las diferentes lenguas de cada bloque económico podían ser una limitación para la expansión del resto de potencias, británicos y norteamericanos empezaron a crear agencias y ediciones en inglés de sus periódicos en Francia y otros países.

Sobre todo intentaba desarrollar sistemas de información comercial, y así empezaron a nacer agencias de calificación que se arrogaban el análisis de las empresas internacionales de cara a los inversores, independientemente de su procedencia, e imponían sus criterios económicos a través de rotativos de información financiera como *Financial Times*, creado en 1888 en Londres, o *The Wall Street Journal*, que comenzó su andadura en 1889 en Nueva York, para atender a los respectivos mercados financieros de uno y otro lado del Atlántico. La agencia de publicidad Walter-Thompson creó por la época delegaciones en Europa y América Latina para *asesorar* a los inversores y empresarios que quisieran exportar o hacer negocios con Estados Unidos, conformando así, en colaboración con las agencias estatales y las embajadas, una tupida red de promoción cultural y control comercial que daría excelentes frutos a lo largo de todos los siguientes años, y hasta la actualidad.

De manera simultánea, se venía desarrollando sobremanera la industria musical y extendiéndose el negocio audiovisual desde la invención del fonógrafo y el cine, inventados, respectivamente, por Edison en 1877 y por Lumière, en 1895. Hacia principios del siglo xx, en 1901, ya se había inventado el disco de 78 revoluciones, y un par de años después Enric Caruso grababa una ópera en directo desde la Scala de Milán de la que se vendieron más de un millón de discos. En 1908 ya había una industria discográfica anglosajona de ámbito mundial, con fábricas en Calcuta y estudios de producción en Bombay, la Gramophone & Co. En el período de 1909 a 1914 se empieza a crear la potente industria cinematográfica norteamericana de Hollywood, hasta donde se trasladan o crean la mayoría de estudios de producción del país después de cruentos enfrentamientos por las patentes del cinematógrafo que obligaron a unos pocos independientes a alejarse de Nueva York para evitar así pagar licencias de explotación. En Europa, concretamente en Francia, los hermanos Pathé, junto con Gaumont, también tenían el monopolio de explotación, y junto a las productoras norteamericanas empezaron a expandir la industria de producción cinematográfica en lugares tan remotos entonces como Egipto, México,

Brasil, China o India, lugares en los que se protagonizaba una soterrada guerra comercial por el monopolio de la industria audiovisual que duraría años, aunque las dos guerras mundiales decantarían la balanza a favor de los Estados Unidos, sólo limitados durante el breve período de entreguerras por la potente UFA alemana que pronto sucumbió ante las pujantes *majors* hollywoodienses que tenían el terreno abonado para su expansión en las cenizas de la devastada Europa que quedó después de la Segunda Guerra Mundial. Previamente, alemanes y norteamericanos habían incluso firmado un pacto para repartirse el territorio mundial, pero el ascenso del nazismo y la emigración masiva de fotógrafos y directores de cine a Norteamérica, además del papel de salvadores de Europa que la historia asignó a los aliados angloamericanos, facilitó el desarrollo de la industria cultural norteamericana, con la creación de revistas como *Life* o agencias fotográficas como Magnum, además de convertirse en centro de producción mundial de ficción cinematográfica y controlar emisoras radiofónicas de alcance internacional como resultado de la guerra propagandística desplegada contra el avance del nazismo en Europa.

La Primera Guerra Mundial sirvió, además, para que la investigación tecnológica en radiocomunicaciones se impulsase sobremanera, así como mejoras importantes en sistemas de codificación y en los equipos y redes telefónicas y telegráficas. Acabada la primera confrontación mundial, Estados Unidos ya disponía de dos empresas de telecomunicaciones de enorme tamaño y capacidad de distribución y control comunicativo global, *Radio Corporation of America* (RCA) y *American Telegraph & Telephone* (ATT); que se expandiría rápidamente por América del Sur arrebatando el monopolio de las comunicaciones a los británicos en el continente.

A partir de 1929, la Unión Soviética, ya consolidada como bloque político-económico después de la Revolución de Octubre de 1917, empieza a emitir radio en alemán, francés, inglés y holandés para ampliar su influencia en la Europa capitalista, y poco después comienzan las emisiones de Radio Vaticano, en 1931, así como las del régimen nazi alemán, que comienza a emitir en 1933 en inglés y unos años más tarde, en 1936, hasta en 28 idiomas. Es la época en la que se produce un mayor enfrentamiento cultural entre bloques, entre las ideas liberales y comunistas y el incipiente bloque genocida formado por Hitler con la connivencia de Mussolini y la aquiescencia del franquismo que iniciaría la confrontación de las ondas y supondría un impagable campo de experimentación para las estrategias propagandísticas que luego se desplegarían en toda su plenitud en la Segunda Gran Guerra. Se intentó un pacto de *no agresión* radiofónica en el seno de la Sociedad de Naciones, en 1936, pero resultó inútil, y las emisoras extranjeras ya operaban para entonces en España mientras se desarrollaba la Guerra Civil, todo ello en un escenario complejo en el que las ideas liberales norteamericanas justificaban la expansión de sus medios de comunicación y sus agencias de publicidad en pro de la libertad de expresión y comunicación, base de las ideas liberales ya comentadas.

La industria automovilística norteamericana, de la mano de la agencia de publicidad Walter-Thompson, diseña una estrategia de implantación global que le lleva a abrir delegaciones en Amberes, Madrid, París, Berlín, Montreal, São Paulo y otros muchos lugares, y en 1938 se crea en Nueva York la *International Advertising Association* (IAA), que unía las empresas exportables norteamericanas a la industria cinematográfica y publicitaria, que facilitaría mucho su implantación a partir de la finalización de la Segunda Guerra Mundial. Una vez acabada esta, las oficinas de inteligencia norteamericanas, la *Office of War Information* (OWI), y la *Office of Strategic Service* (OSS), que habían reclutado eminentes sociólogos y psicólogos, así como personal y relaciones públicas de las agencias de publicidad, empiezan a realizar actividades propagandísticas que desembocan, entre otras, en la creación de *Voice of América*, en 1942, emisora de radio que abanderaría el liberalismo en todo el globo, especialmente dirigida a Europa y al bloque soviético. Más tarde, una vez implantado el *Plan Marshall* para la reconstrucción de Europa y establecidos los canales de distribución adecuados para la penetración industrial y cultural

americana en el continente, se crearían *Radio Free Europa*, en 1950, y *Radio Liberty*, en 1953, desde la CIA (cuyo germen eran las agencias creadas durante el período de guerra), dirigidas a los países del Este. Por esos años se estrecharon las relaciones entre la Unión Internacional de Telecomunicaciones y Naciones Unidas, cristalizando así el dominio que ejercía, y practica, la política estadounidense en el flujo comunicativo y los organismos internacionales.

Las redes globales de comunicaciones cobraron un impulso inusitado durante la Guerra Fría, y una vez lanzado el *Sputnik* por la Unión Soviética en el año 1957 se inició la carrera espacial, obligando a Estados Unidos, a su entonces presidente Kennedy, a fundar ese mismo año la NASA (National Aeronautics and Space Agency), que en los siguientes años impulsaría el avance de la investigación espacial y el despliegue de satélites de radiocomunicaciones, el primero de ellos el *Early Bird*, lanzado en 1965 para empezar a conformar la red INTELSAT, participada por Alemania, Gran Bretaña y Francia, pero de mayoría accionarial estadounidense. A partir de los años 50, igualmente, Estados Unidos empezó a desplegar redes de defensa militar de radares que unían ordenadores, y en 1968 se creó la red ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network), que unía centros de cálculo de universidades y es el origen de la red Internet. Junto a las redes de comunicaciones, las industrias del entretenimiento se han continuado expandiendo globalmente, hasta el extremo que las últimas confrontaciones bélicas han sido, como es por todos conocido, televisadas en directo por cadenas internacionales como la CNN.

En definitiva, actualmente disponemos de un sistema planetario de satélites con aplicaciones civiles y militares y una red mundial de ordenadores con capacidad y funcionalidades en franca expansión, impulsadas y controladas por sólo unos pocos grupos económicos y multimedia transnacionales de propiedad anglosajona y japonesa, por el momento y hasta que China e India adquieran mayor relevancia global de la que ya tienen, que funcionan bajo la filosofía de las agencias de publicidad, gestionando e implantando su imagen corporativa y su propia cultura empresarial globalmente.

De esta manera, el flujo del conocimiento y las infraestructuras de comunicaciones globales está siendo controlado y regulado de manera que facilite los fines geoestratégicos de las potencias propietarias de las redes y las bases de datos de carácter económico, científico, y audiovisual o periodístico, aspectos clave para determinar la deriva del enfrentamiento entre los bloques político-económicos actualmente en liza.

Finalmente, y para concluir, cabe resaltar que la extraordinaria revolución en los sistemas de distribución y almacenamiento de información nos lleva a asumir, tal como se desprendía de un aparentemente obsoleto informe de investigación elaborado por Nora y Minc en el lejano año 1978 titulado *La informatización de la sociedad*, que tal como se está desarrollando el actual modelo socioeconómico en el entorno de las actuales redes de comunicación digital, «el saber acabará por ser modelado, como ha sucedido siempre, por la información almacenada. Dejar que sean otros, esto es, las bases de datos norteamericanas quienes se encarguen de organizar esta memoria colectiva, contentándose con su utilización, equivale a aceptar una alienación cultural». Ejemplos hay, y muchos; basta asomarse un poco a la red Internet para adivinar fácilmente en qué lugar reside el control sobre el flujo comunicativo de nuestra actual sociedad digital.

La imagen fotográfica

RESUMEN

En este tema se van a tratar los fundamentos científicos que sustentan las tecnologías actuales utilizadas para la obtención de imágenes fotográficas, es decir, para registrar imágenes, para, tal como indica literalmente la etimología del término, dibujar con luz.

En un primer momento, veremos cuáles son las características de la luz, materia prima con la que tendremos que trabajar, y que, sabemos, es un fenómeno físico que ha sido objeto de estudio y reflexión desde los filósofos griegos clásicos. En nuestros días ocupa una importante área de investigación científico-técnica que impulsa el desarrollo de importantes aplicaciones industriales que facilitan el avance del conocimiento actual de manera absolutamente espectacular, ofreciendo además cada día nuevos productos y servicios puestos a disposición del consumidor final que suponen importantes innovaciones en la forma cotidiana de relacionarnos con el entorno. En el epígrafe segundo, vamos a analizar en profundidad los principios básicos inherentes a la obtención de imágenes fotográficas, partiendo de los procesos fotoquímicos clásicos, lo cual nos permitirá entender de manera sencilla los fundamentos físicos y los procedimientos técnicos que sustentan los procesos de obtención de imágenes fotográficas. Posteriormente, y en el tercer apartado, aplicaremos los conocimientos teóricos básicos adquiridos en los epígrafes precedentes para analizar y comprender con precisión los sistemas tecnológicos contemporáneos desarrollados para la obtención, tratamiento y distribución de imágenes utilizando equipamientos digitales. Finalmente, para cerrar este tema, estudiaremos algunos de los dispositivos más habituales para la impresión y distribución de imágenes fotográficas.

2.1. VISIÓN, LUZ Y COLOR

En la cotidianeidad de nuestros días estamos acostumbrados a hacer uso de nuestros sentidos de manera automatizada sin darnos cuenta de lo que hacemos, y en pocas ocasiones somos conscientes del complejo acto de percepción en sí mismo. Con toda *naturalidad* nos desplazamos por el espacio haciendo uso de nuestras cualidades físicas de bípedos erguidos, ejecutando movimientos musculares mecánicos que nos permiten dirigirnos hacia donde nuestra iniciativa nos guíe utilizando los sentidos para sortear los obstáculos que podamos encontrar por el camino. Otras veces, por ejemplo, nos sentamos en el cómodo sofá de nuestro salón o en una sala cinematográfica y nos *sumergimos* en la ficción que las pantallas nos presentan mientras permanecemos inmóviles, dejando que nuestra imaginación camine al ritmo de la diégesis que se nos presenta en forma audiovisual.

Esta *inmersión* que nuestros sentidos nos permiten realizar, y disfrutar, en multitud de actos tan cotidianos está altamente automatizada y pocas veces nos paramos a pensar qué está ocurriendo para que estos actos sencillos sean posibles, y en muy raras ocasiones ponemos en crisis la supuesta *naturalidad* con que los realizamos. Sin embargo, la peculiar forma en que nos relacionamos como humanos con nuestro entorno a través de la percepción que nos permiten nuestros órganos sensoriales no es, ni mucho menos, la única manera que hay en el reino animal de gestionar los estímulos externos; hay muchas otras formas de hacerlo e incluso más efectivas. La naturaleza física de los fenómenos que perciben las distintas especies animales es la misma, pero cada una de ellas utiliza sistemas sensoriales distintos y, por lo tanto, la percepción del mismo fenómeno en las diferentes especies animales es distinta. Sin necesidad más que de mirar un poco a nuestro alrededor, encontramos estrategias de adaptación al entorno en otras especies completamente distintas a las nuestras, basadas en pautas y sistemas perceptivos diferentes, aunque, y eso es lo que vamos a estudiar a continuación en lo referente a la visión, nuestros mecanismos perceptivos, y los de cualquier otra especie que tenga órganos sensoriales para la visión independientemente de sus *prestaciones*, por llamarlo de algún modo, están adaptados para la exploración y percepción de un tipo particular de estímulos, las ondas electromagnéticas.

2.1.1. Naturaleza de la luz

La luz es un fenómeno que ha maravillado a todas las civilizaciones desde antiguo, pero no fue hasta el siglo XVII cuando Isaac Newton comenzó a estudiar científicamente la física de la luz. Según sus teorías, la luz era un fenómeno de naturaleza mecánica en el que unas partículas luminosas, o corpúsculos (de ahí el nombre de *teoría corpuscular* con el que se conocen sus ya superadas propuestas), se desplazaban por el espacio en línea recta hasta llegar a los órganos de la visión. Su concepción teórica explicaba bien los fenómenos de reflexión de la luz, pero resultaba insuficiente para entender otros aspectos, que Huygens y Young, algunos años después, intentaron comprender a partir del estudio de la forma en que se distribuía y desplazaba la energía luminosa en el espacio vacío. Determinaron que este desplazamiento se realizaba en forma de ondas sinusoidales de frecuencia periódica que portaban energía, y desarrollaron una teoría al respecto, llamada por ello *teoría ondulatoria*, que se impuso rápidamente entre los círculos científicos. Después, Maxwell integró estas investigaciones sobre las ondas luminosas con las que él mismo venía realizando sobre el magnetismo, y concluyó que la luz visible era un fenómeno de naturaleza electromagnética que se producía sólo con un grupo de longitudes de onda que constituían una pequeña región en el espectro electromagnético. Más tarde, y retomando las teorías de Newton, Planck explicó la forma en que se transmitía la energía luminosa integrándola con su teoría cuántica, es decir, en forma de minúsculos cuantos de

energía a los que se dio el nombre de *photones*. De Brooglie, poco después, proporcionó una teoría que integraba todo el conocimiento acumulado al respecto hasta entonces, llamada *mecánico-ondulatoria* y vigente en nuestros días, según la cual la luz estaría formada por fotones de energía que interactúan con la materia y se propagan mediante ondas electromagnéticas a una velocidad de 2.998×10^8 m/s en el vacío. En el aire la velocidad de propagación es casi idéntica, pero en el agua se reduce a unos $\frac{3}{4}$, y en el vidrio, aproximadamente a $\frac{2}{3}$, y, como veremos a continuación, se explican bien con todo ello los fenómenos de absorción, reflexión, refracción y transmisión de la luz cuando se desplaza a lo largo del espacio e interactúa con la materia existente.

2.1.1.1. Ondas electromagnéticas y luz visible

Las ondas que viajan en el vacío a la misma velocidad que la luz visible forman parte del tipo de ondas que por sus propiedades se denominan *ondas electromagnéticas*. Se describen como ondas transversales, puesto que vibran en ángulos rectos respecto a su dirección de propagación.

Como se puede observar en el gráfico, una onda electromagnética vibra en dos planos: en el eje y se distribuye la energía del campo eléctrico y en el eje z, la del campo magnético. La distancia existente entre dos puntos sucesivos de vibración en una onda se denomina *longitud de onda* (representado por la letra lambda, λ), y la intensidad eléctrica con que vibra en el eje y se denomina *amplitud*.

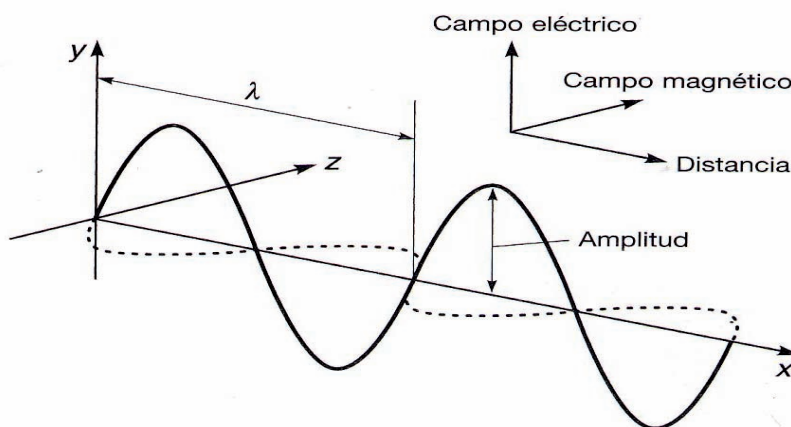


Ilustración 1. Onda electromagnética

El número de ondas que pasan por un punto determinado a lo largo de un segundo es la *frecuencia de vibración* (que se simboliza con la letra nu, ν), y de este modo, la velocidad (representada por c) se relaciona con la frecuencia y la longitud de onda de la siguiente manera: $c = \nu \lambda$. Es decir, como la velocidad de desplazamiento siempre es constante, 2.998×10^8 m/s en el vacío, al aumentar la longitud de onda, necesariamente disminuye la frecuencia de vibración, y viceversa, al disminuir la longitud de onda, se produce un aumento de la frecuencia. De esta manera, podemos caracterizar las ondas en el seno del espectro electromagnético según su longitud de onda o su frecuencia, indistintamente, tal como podemos ver a continuación:

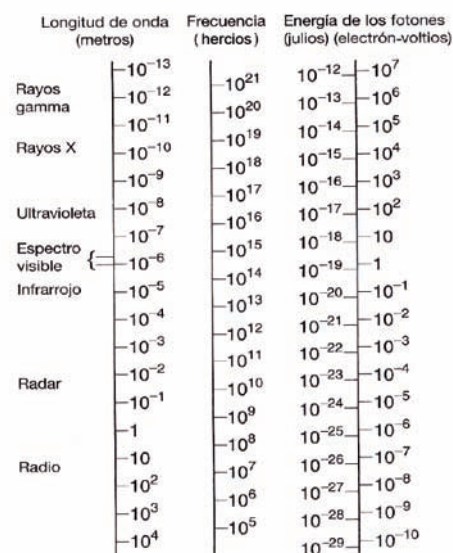


Ilustración 2. Espectro electromagnético (R. Jacobson)

Como se puede observar, la parte visible del espectro sólo la conforman un pequeño grupo de ondas cuyas longitudes están comprendidas, aproximadamente, entre los 400 nm y los 700 nm. Entre las longitudes de ondas menores podemos encontrar los rayos X y gamma, y entre las mayores, desde el radar a las longitudes de onda que se utilizan para la radiodifusión sonora. Nótese que la cantidad de energía electromagnética varía también en función de la longitud de onda, siendo mayor a medida que la longitud de onda es menor.

El espectro visible, visto con detalle, podemos subdividirlo de manera que cada longitud de onda corresponda aproximadamente a un color percibido por nuestros órganos de la vista en una gradación continua que va desde los azules (400nm-500 nm), pasando por los verdes (500 nm-600 nm) hasta llegar a los rojos (600 nm-700 nm). En el gráfico se incluyen también las regiones ultravioleta, anterior a los 400 nm y denominada *UV*, e infrarroja, posterior a los 700 nm y llamada *IR*, que aunque invisibles a nuestra percepción, son de gran interés y utilidad a efectos fotográficos.

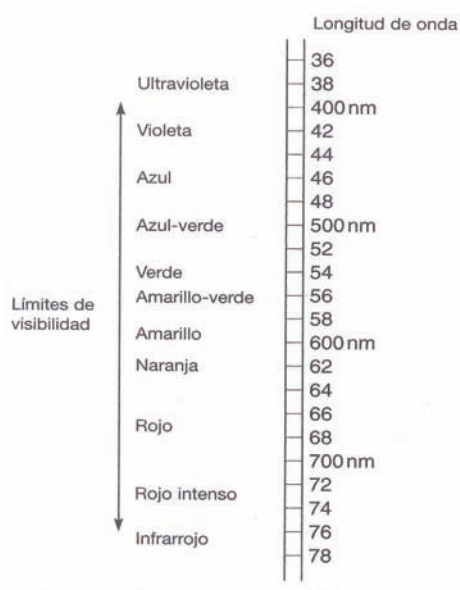


Ilustración 3. Luz visible (R. Jacobson)

2.1.1.2. Interacciones de la luz y la materia

Las ondas electromagnéticas interactúan con el medio a través del que se desplazan, y su energía se transforma en función de las características de la materia que conforma este medio provocando sobre él efectos fotomecánicos y/o fotoquímicos. De este modo, al interactuar con la materia, la energía electromagnética puede ser absorbida, reflejada o transmitida, y lo habitual es que se produzcan todos los fenómenos de manera simultánea en distintas proporciones. La absorción de energía fotoeléctrica suele provocar efectos sobre la estructura de los átomos dando lugar a reacciones fisicoquímicas comúnmente asociadas a reacciones en forma de calor y electricidad.

Cuando las ondas electromagnéticas se transmiten o reflejan, de manera directa o difusa, se producen variaciones sobre la trayectoria de la onda incidente y siempre se absorbe parte de su energía. Si la onda es transmitida, se producen efectos sobre la velocidad y la trayectoria de las ondas portadoras de energía electromagnética, en función de las características del medio que atraviesa, y siempre disminuye su velocidad y puede sufrir desviaciones en mayor o menor grado, llamadas *refracciones*, en función del así denominado *índice de refracción del medio*, cuyo valor depende de su densidad y su estructura atómica. El índice de refracción de un medio se calcula a partir de la ley de Snell, según la cual el ángulo que forma sobre el eje óptico el rayo incidente y el refractado es el mismo y, por tanto, si asumimos que el aire tiene un índice de refracción de 1, el índice de refracción de un medio distinto al aire, n_2 , viene determinado por la relación entre el ángulo incidente y el refractado. Tal como vemos, cualquier material más denso que el aire tiene índices de refracción mayores y, por tanto, se produce una mayor desviación en la trayectoria, lo cual es de importancia crítica cuando se diseñan sistemas ópticos para las cámaras fotográficas. La refracción es un fenómeno que, sin ir más lejos, podemos observar cuando estamos en una piscina con parte del cuerpo sumergido y al mirar a través del agua lo vemos absolutamente distorsionado debido precisamente al alto índice de refracción del medio acuático.

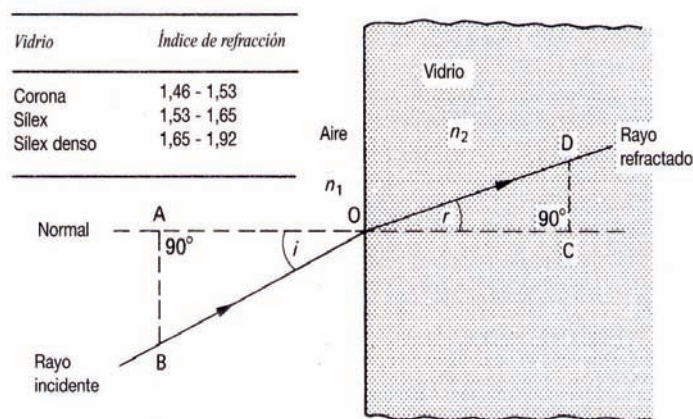


Ilustración 4. Refracción. Ley de Snell (R. Jacobson)

El índice de refracción en el mismo medio varía también para cada longitud de onda, produciéndose una desviación mayor en las longitudes de ondas menores, en el caso de la luz visible las correspondientes a los azules, y menor para las longitudes de ondas mayores, los rojos. Este fenómeno se encuentra en el origen de la formación del arco iris, cuyo misterio y belleza reside, precisamente, en la dispersión de colores que se produce por la distinta refracción que sufre cada una de las longitudes de onda que conforman la luz solar que atraviesa la infinidad

de diminutas gotas de agua que se distribuyen por la atmósfera y se interponen a modo de microprismas a la visión del observador maravillado.

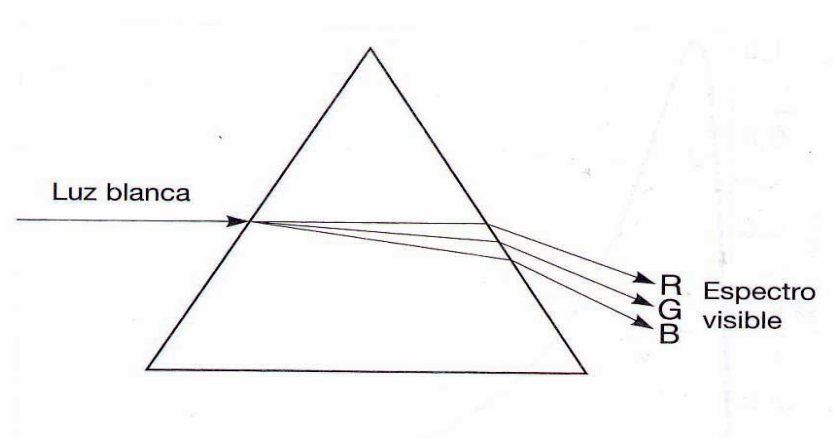


Ilustración 5. Prisma de Newton

Es decir, la velocidad y trayectoria de la luz varía en función del medio que atraviesan las ondas electromagnéticas, determinado por el propio índice de refracción del medio por el ángulo de incidencia y por la particular forma geométrica que este medio tenga y, siempre y en todo caso, parte de la energía de los rayos incidentes será absorbida por el medio.

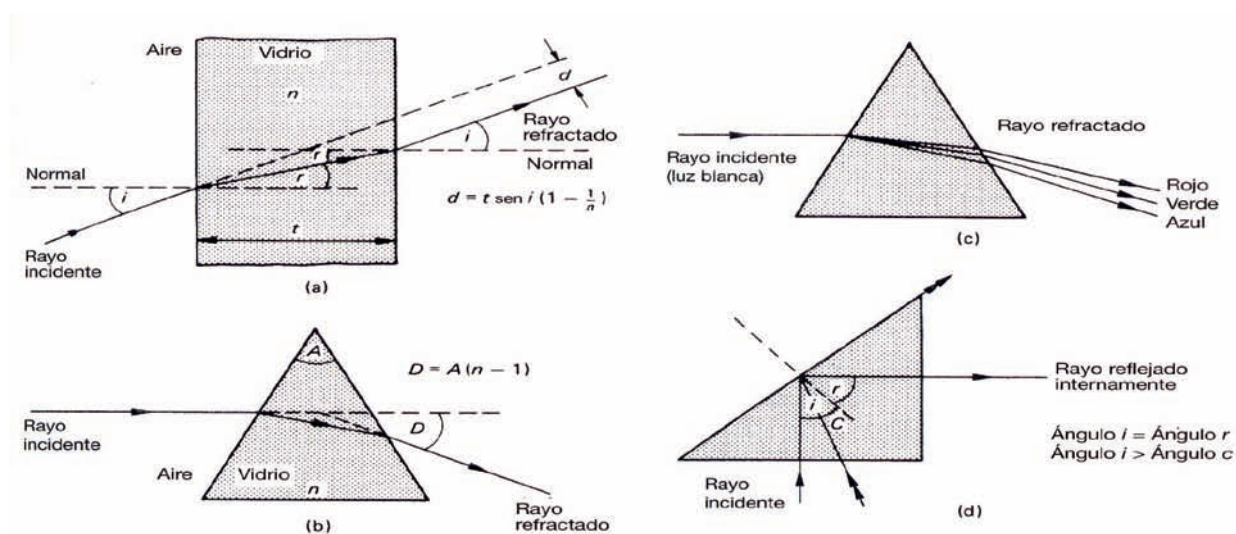


Ilustración 6. Refracción de la luz (R. Jacobson)

De este modo, tal como vemos, si la luz se transmite a través de un vidrio de caras no paralelas, o lo que es lo mismo, de un vidrio en forma de lente convergente (a) o divergente (b), cuya estructura podemos concebir, tal como se muestra en el gráfico siguiente, como formada por una sucesión de prismas, podemos hacer que un punto de luz forme una imagen idéntica de sí mismo al conseguir aunar de manera coincidente en otro lugar, llamado *plano focal*, las diferentes desviaciones en la trayectoria de las ondas luminosas que conforman ese punto.

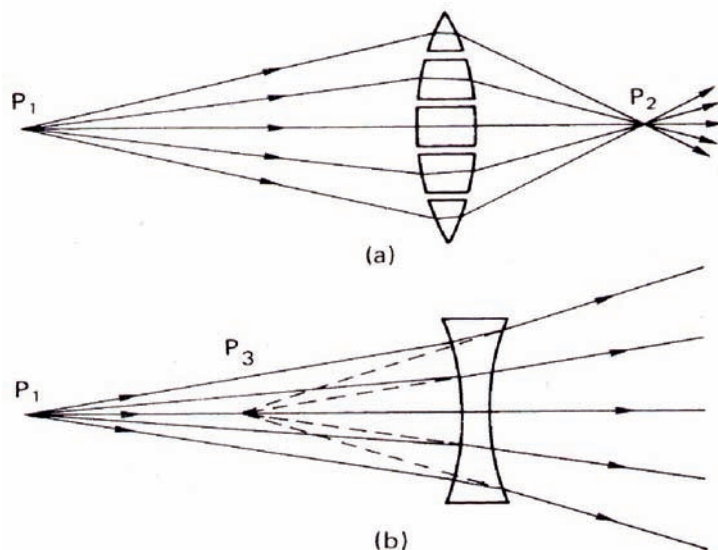


Ilustración 7. Lente convergente y divergente (R. Jacobson)

En el caso de la lente convergente ese punto de luz hipotético se *enfoca* en la parte posterior y, justo en ese plano, es cuando conseguimos tener la imagen enfocada en las cámaras fotográficas que utilizamos cotidianamente; la lente divergente forma el foco en un plano virtual y, por sí misma, no serviría con fines fotográficos aunque en combinación con otras lentes formando un conjunto óptico integrado permite, por ejemplo, la construcción de objetivos tipo *zoom*, como el que vemos a continuación, y cualesquiera otros, pues siempre se diseñan con un conjunto más o menos complejo de lentes, eso sí, contemplando las leyes básicas de la óptica, entre las que se encuentran las relativas a la refracción.

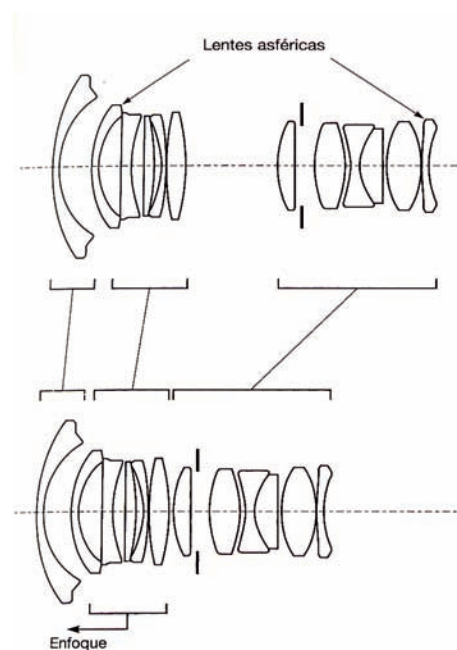


Ilustración 8. Estructura de un objetivo (R. Jacobson)

Es conocido desde hace tiempo que, como la luz viaja en línea recta, cuando pasa a través de un pequeño agujero, llamado *estenopo*, forma una imagen invertida y girada en la parte posterior. La formación de imágenes por este método está muy limitada en cuanto a definición, óptima cuando el diámetro del estenopo (K) es aproximadamente $K=\sqrt{v}/25$, donde v es la distancia entre el estenopo y la pantalla posterior.

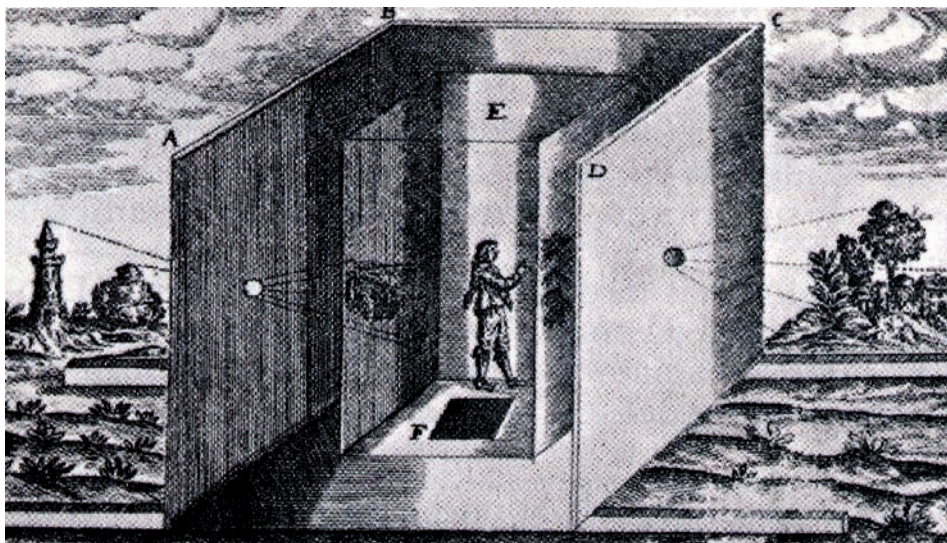


Ilustración 9. Cámara oscura de Kircher, 1646 (M-L. Sougez)

Conocer estas particulares características, que determinan el comportamiento de la luz visible en tanto energía en forma de onda electromagnética que al desplazarse interacciona con la materia produciéndose cambios en su trayectoria y sobre la propia materia, es fundamental para entender los principios que fundamentan la tecnología creada para la obtención de imágenes fotográficas que, como veremos a continuación, está desarrollada como un artificio útil para la exploración de ondas electromagnéticas visibles con muchas similitudes con los mecanismos biológicos que nos permiten percibir el entorno a través de nuestro órgano de la visión, es decir, de nuestros ojos.

2.1.2. Visión y percepción

La percepción del mundo que nos rodea es un proceso de orden cognitivo superior que implica la recepción y el tratamiento de las muestras sensibles que llegan a nosotros del entorno a través de nuestros sentidos. Ello supone, por tanto, que la percepción es un proceso mediado por las características fisiológicas de nuestros órganos sensoriales y por el particular procesamiento que nuestro cerebro haga de los mismos.

Como hemos visto en lo relativo a las ondas electromagnéticas, nosotros percibimos como visibles sólo aquellas longitudes de onda que se encuentran entre los 400 nm y los 700 nm debido a las particulares células receptoras de luz de nuestros ojos, pero esto no es más que una característica particular de nuestra visión y que no comparten otras especies animales, como por ejemplo la respuesta a la luz en monos y gatos, tal como probaron Hubel y Wiesel, y que les valió el premio Nobel en Fisiología y Medicina en 1979. La visión es radicalmente distinta de unas especies animales a otras y, por ejemplo, para las arañas el campo visual es mucho mayor que para nosotros, pues poseen varios pares de ojos repartidos de manera esférica; las aves rapaces, por su parte, poseen una capacidad de enfoque a larga distancia muy superior a la nuestra gracias a su específica adaptación al entorno debida a la particular estructura de sus órganos visuales.

2.1.2.1. El ojo humano y la visión

Tal como se puede observar en el gráfico siguiente, en que se muestra la estructura de nuestros ojos, el globo ocular tiene forma esférica y se trata básicamente de una caja oscura contenida dentro de la esclerótica, formada por un tejido denso blanco y opaco, con un sistema de lentes formado por la córnea y el cristalino, que enfoca los rayos sobre la retina al fondo del globo para formar imagen invertida. El iris controla la cantidad de luz que entra en el ojo, de manera que se abre totalmente cuando hay poca luz y se cierra ante estímulos luminosos intensos para regular la cantidad de luz que llega a la retina, formada por receptores sensibles a la luz, y adecuarla a los umbrales mínimos y máximos de energía sobre los que operan.

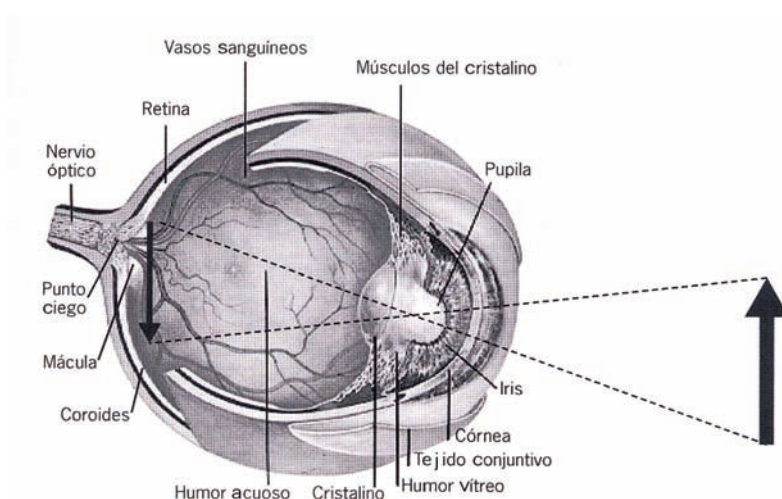


Ilustración 10. Estructura del ojo (Pérez y Zamanillo)

Los receptores visuales de la retina son un tipo de células, en forma de cono o de bastón, que contienen pigmentos y cambian su forma estructural al estar en contacto con la luz y, como consecuencia de ello y al igual que el resto de órganos sensoriales, generan impulsos eléctricos que llegan hasta nuestro cerebro a través del nervio óptico, formado por alrededor de un millón de fibras nerviosas, los únicos que este es capaz de interpretar.

El globo ocular tiene un diámetro de alrededor de 24 mm. Cuando el iris está totalmente abierto, su diámetro de apertura es de unos 8 mm aproximadamente, y si está cerrado de hasta de 1,5 mm, lo cual significa, en términos fotográficos, aperturas de diafragma que oscilan entre f2 y f11, y una distancia focal de 16 mm.

2.1.2.2. Discriminación de la luminosidad

Los dos tipos de células que encontramos en la retina, conos y bastones, fueron descubiertos por Schulze en 1886 y se diferencian, además de por su particular forma, que les da nombre, porque tienen distintos pigmentos y responden de manera diferente a los estímulos visuales. Se han contabilizado alrededor de 6 millones de conos que se distribuyen alrededor de la fóvea, en el eje de la visión, y responden a intensidades luminosas moderadas y altas; y hasta aproximadamente 120 millones de bastones, que se activan en condiciones de baja luminosidad. Los 126 millones de células receptoras, entre conos y bastones, se agrupan a través de otras células mediadoras

que integran sus impulsos y los hacen llegar a los nervios ópticos, de manera que, aproximadamente, cada 126 células receptoras se agrupan en torno a un único nervio óptico. También se ha demostrado que cada neurona transmisora requiere alrededor de 1 ms para recuperarse de la conducción, pudiendo emitir impulsos con tasas máximas de 500 a 800 por segundo.

La forma en que las células retinianas responden a los incrementos de intensidad luminosa es un fenómeno bien conocido, y se sabe que, al contrario de lo que podría parecer, los estímulos no se perciben de manera proporcional a su intensidad física, sino de manera logarítmica, tal como probaron experimentalmente Webber y Fechner, quienes demostraron que la duplicación de la intensidad luminosa no duplica el brillo percibido, sino que se ha de elevar al cuadrado, tal como muestra el gráfico siguiente entre cada banda de gris al cuadrado, para percibir tal diferencia como el doble de luminosidad.

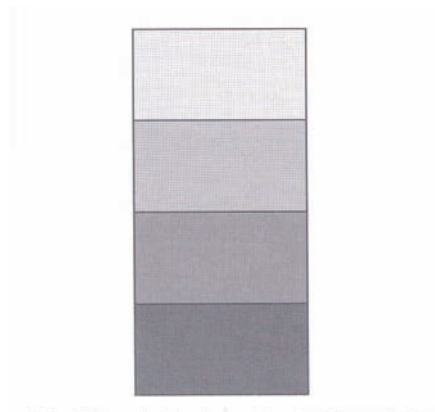


Ilustración 11. Ley Webber-Fechner

La diferente forma en que las dos células receptoras actúan frente a la intensidad luminosa también es bien conocida, y los efectos sobre la visión son fácilmente comprobables cuando nos fijamos, por ejemplo, en la forma en que se adapta nuestra visión a la oscuridad. Esta operación nos lleva aproximadamente entre 7 y 10 minutos, el tiempo necesario para que los bastones actúen con sus máximas prestaciones, es decir, a su máxima sensibilidad. Cuando esto ocurre, la diferente sensibilidad de cada una de las células a los colores nos hace ver el entorno de manera distinta, produciéndose el fenómeno denominado *desviación de Purkinje*, en honor de su descubridor. Así, se habla de visión fotópica o diurna, cuando actúan los conos y los bastones en condiciones de luminosidad óptima, y de visión escotópica o nocturna, cuando sólo actúan los bastones en situaciones de baja luminosidad, situación que provoca un desplazamiento en la sensibilidad a las distintas longitudes de onda, tal como podemos ver en el gráfico, y que podemos comprobar cualquier noche viendo transformarse los colores ante nuestros ojos con una desviación hacia los azules.

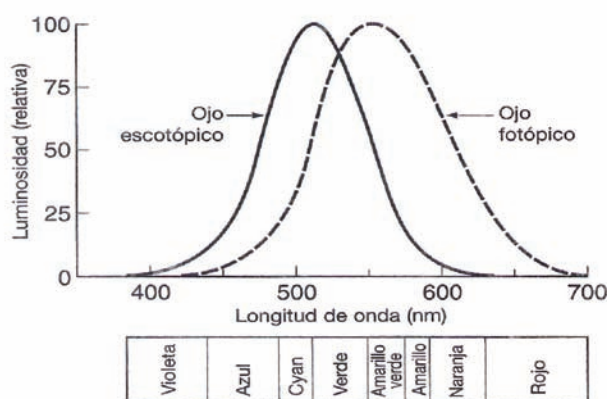


Ilustración 12. Desviación de Purkinje

2.1.2.3. Percepción del color

En el estudio de la forma en que percibimos el color son pioneros los trabajos del propio Newton, quien observó en 1666 cómo la luz blanca se descomponía a través de un prisma en todos los colores del espectro y, con ello, se podía considerar que en la luz blanca estaban integradas las longitudes de onda correspondientes a todos los colores. Young, en 1802, y Hemholtz, en 1852, experimentaron con la suma de luces proyectando sobre un mismo espacio para intentar obtener luz blanca y así poder determinar cuál era su composición. Con el conjunto de sus investigaciones se desarrolló la denominada *teoría tricromática del color*, que recogía sus experimentos determinando que hay tres colores primarios o fundamentales a partir de los cuales se pueden obtener, por adición, el resto de colores del espectro, incluido el blanco, que se formaría con la proporción 0,30 de rojo, 0,59 de verde y 0,11 de azul.

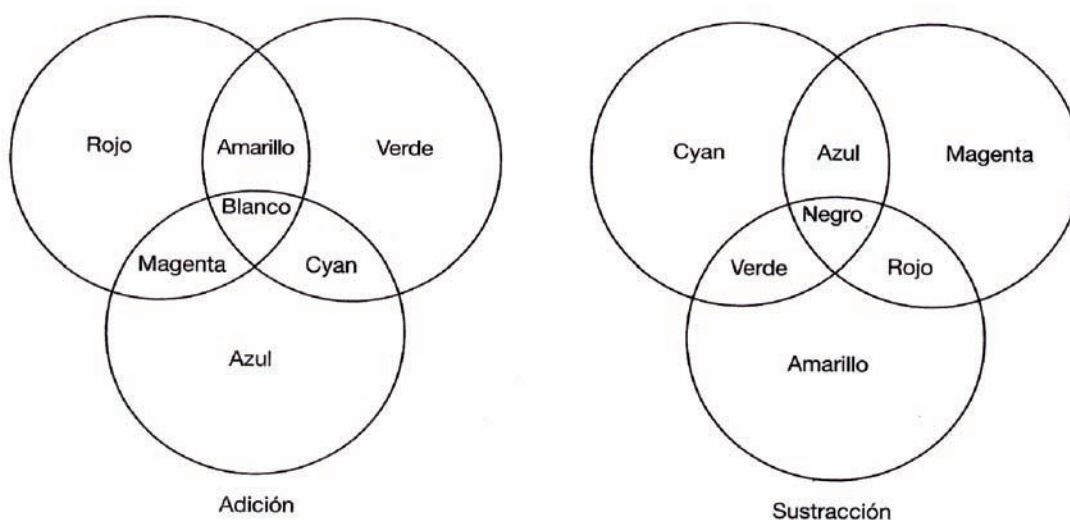


Ilustración 13. Formación del color (R. Jacobson)

Con los llamados colores complementarios, suma de dos colores primarios (rojo+verde=amarillo, azul+rojo=magenta y azul+verde=cian), y por sustracción o resta a la luz blanca, se puede obtener igualmente toda la gama cromática, de modo que, como se puede observar, si interponemos a la luz blanca un filtro amarillo, que absorbe los azules y sólo transmite las longitudes de onda correspondientes a los colores verdes y rojos, y otro magenta, que sólo deja pasar las luces azules y rojas, el resultado de la sustracción o absorción de los colores respecto a la luz blanca sería el rojo, único color que se transmitiría con esa combinación de filtros amarillo y magenta. En el caso de la mezcla de colores por adición, si proyectamos una luz roja y otra verde y las intersectamos, la mezcla de ambas nos crearía un color amarillo, cuya saturación y tono particular dependerá de la intensidad de cada una de las luces primarias; si sumásemos otra luz azul en la proporción adecuada, podríamos obtener blanco, y cualquier otro color variando la intensidad de cada una de las luces componentes.

El espectro de absorción de los bastones, que representan el 99% de las células pigmentadas de la retina, se había intentado medir sin mucho éxito por primera vez en 1877, y hubo que esperar muchos años a que Wald y Brown determinaran, en el año 1958, cómo veíamos exactamente el color y cuáles eran las bases fisiológicas de la visión. La medición del espectro de absorción de los conos hubo de esperar todavía más, y sólo fue posible recientemente,

en 1964, cuando se desarrolló suficientemente la tecnología de análisis espectral conocida como *microespectrofotometría*. Se demostró que en las células retinianas había tres tipos de pigmentos que tenían espectros de absorción diferentes (longitudes de onda de 435 nm, 535 nm y 565 nm) y que se combinan en una particular curva de respuesta espectral ante distintas situaciones de iluminación, intentando siempre adaptar su respuesta cromática a la percepción del color blanco, a una curva de respuesta similar a la que se ve a continuación, suma de los tres colores.

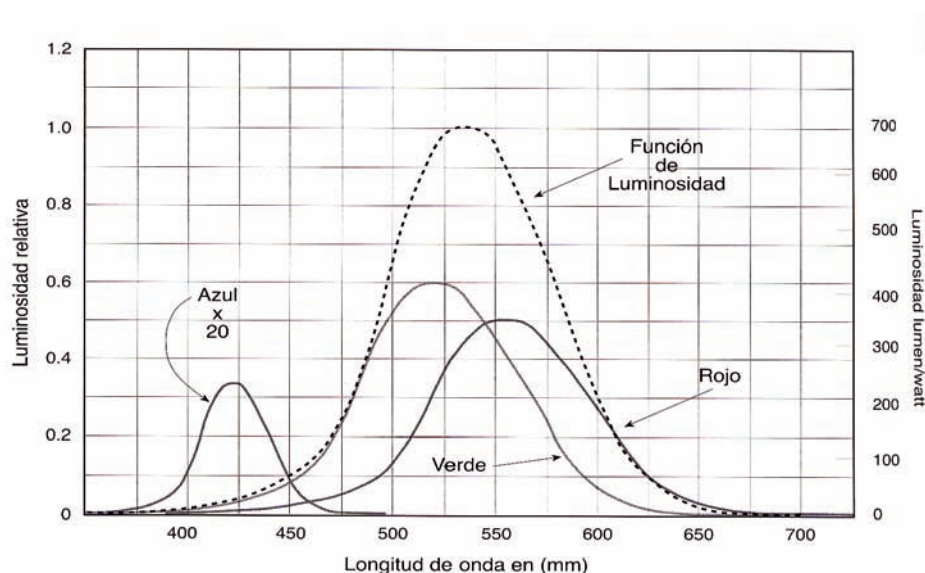


Ilustración 14. Sensibilidad espectral humana

Es decir, la sensibilidad relativa de cada uno de los tres pigmentos receptores varía en intensidad en relación a la situación de iluminación, aspecto que podemos comprobar fácilmente cuando transitamos del exterior soleado a una habitación interior iluminada con una bombilla convencional. Al entrar en la habitación veremos que todo el ambiente lumínico está bañado por una luz naranja, la de la bombilla, pero pasados unos minutos veremos todo el espacio iluminado por una luz algo más blanca, aunque obviamente la bombilla sigue proporcionando la misma calidad de color al espacio. Esta particular adaptación perceptiva al blanco de nuestra visión es la causa de que los equipos de captación de imágenes deban integrar controles para realizar el llamado *balance de blancos*, es decir, para que, independientemente de las longitudes de onda que conforman el espacio lumínico, se realice una corrección similar a la que hacen nuestras células receptoras y los equipos de captación perciban un blanco similar al que nosotros vemos, no el color anaranjado, como en este ejemplo, que emana de la bombilla e ilumina el espacio con esa tonalidad.

Por otro lado, y en cuanto a la capacidad que tenemos de discriminación de los colores, en experimentos realizados al efecto se ha hallado que un observador normal puede denominar alrededor de 150 colores base, pero que llegamos a diferenciar hasta 7 millones, aunque en un estudio realizado por el National Bureau of Standards el máximo que se han conseguido encontrar son 7.500 vocablos de colores diferentes. No obstante, la mayoría de ellos son poco usuales o desconocidos para la mayoría de las personas que participaron en el estudio. Se ha demostrado también que son muchos los mamíferos que no perciben el color tal como lo hacemos nosotros, o lo hacen de manera mínima (los gatos, por ejemplo, son dicromáticos, tal

como mostraron Mello y Peterson en 1964), y que la mejor visión en color entre los mamíferos no humanos la tienen nuestros antecesores, los monos.

Durante el proceso de percepción de los colores se suceden varios efectos neuropsicológicos que hacen variar la naturaleza de lo percibido respecto al estímulo original, uno de ellos, por ejemplo, el llamado *efecto del área circundante* que provoca que un color se vea distinto en función de si está rodeado de uno u otro color. De igual manera, se ha demostrado que la memoria del color afecta a su percepción y si, por ejemplo, un objeto siempre es de un color típico, como una manzana roja, si de pronto deja de presentarse en ese color, el nuevo color no es percibido en toda su dimensión, sino que su matiz se desplaza, en este caso hacia el rojo de la manzana prototípica. La visión de los colores también puede verse afectada por problemas puramente fisiológicos, y nos podemos encontrar con personas dicromáticas, tricromáticas anómalas o, incluso, monocromáticas, de las que se calculó que hay hasta diez individuos por cada millón, según estudió Legrand en el año 1957, individuos que, además, son muy sensibles a las luces intensas y tienen poca agudeza visual, ya que los únicos receptores funcionales de que disponen son los bastones y estos se ven desbordados ante una excesiva luminosidad constante que han de procesar. Además de los problemas al percibir los colores en nuestros órganos de la visión, también se pueden producir problemas relativos al enfoque, tales como los fallos de acomodación, la miopía, hipermetropía, astigmatismo, cataratas, degeneración macular o lesiones en el nervio óptico, que afectan sin duda a gran parte de la población.

2.1.2.4. La imagen tridimensional y el movimiento

La percepción del mundo tridimensional desde la imagen bidimensional que se forma en la retina se realiza a partir de varias estrategias psicológicas y es vital para entender el modo en que integramos nuestra cotidianeidad en el mundo físico a partir de los estímulos que reciben nuestros sentidos.

Entre otras, utilizamos estrategias cognitivas como la superposición de fondos y figuras, con lo cual podemos establecer espacios virtuales entre los distintos planos superpuestos; la diferencia de tamaño o altura relativa de los objetos, permitiéndonos realizar cálculos basados en la experiencia en relación a la profundidad a que se encuentra cada uno de ellos; la llamada perspectiva aérea, que nos permite distinguir distancias teniendo en cuenta que los objetos más lejanos se ven habitualmente menos nítidos por la difuminación que provoca el aire; la adecuación al tamaño más familiarmente conocido, para lo cual se utiliza la memoria; o la perspectiva lineal, desarrollada para su aplicación posterior en pintura y arquitectura en 1435 por Alberti y que está basada en la convergencia de líneas en el infinito que, siendo líneas paralelas imaginarias que conforman el espacio, se acaban por unir dando una idea geométrica de la distancia a que se encuentran; o el llamado paralaje de movimiento, que permite distinguir las tres dimensiones en objetos móviles de manera que cuando el observador camina más lejos o más cerca del observador pasa más rápido o más lento por su retina, cubriendo todo el campo de visión, lo cual permite calcular igualmente la distancia a que se encuentra. Se cree, también, que la actividad de los músculos oculares para la acomodación y convergencia focal envía datos al cerebro para el procesamiento espacial, aunque no está demostrado en toda su extensión, pero sí es conocido que la disparidad angular derivada de la visión binocular, es decir, el diferente campo de visión de cada uno de los ojos, es determinante para percibir la profundidad espacial y las tres dimensiones, así como también lo son los apoyos luminosos y las texturas de las superficies que se encuentran en el campo de visión.

En cuanto al movimiento, éste se detecta utilizando también varias estrategias perceptivas de las que ni nos damos cuenta, pero están en la base de los procesos cognitivos fundamentales. Por ejemplo, como el objeto se mueve a lo largo de la retina mientras los ojos permanecen inmóviles, o incluso si también los ojos siguen el movimiento, este desplazamiento relativo del sujeto que va estimulando progresivamente diferentes grupos de células retinianas de manera sucesiva y lineal siguiendo la dirección del movimiento permite su percepción; también, como los objetos se mueven respecto a un fondo que permanece invariable es, por tanto, fácil detectarlo por simple comparación de estímulos. Estas estrategias perceptivas, aparentemente tan burdas, están también en la base de los sistemas robotizados que intentan detectar el movimiento para lo cual se desarrollan equipamientos tecnológicos útiles para fines industriales o de otra índole.

Se ha demostrado también que si un punto luminoso se mueve en la retina en lapsos inferiores a 30 ms se percibe de manera individualizada en cada una de las posiciones; si se mueve con lapsos que oscilan entre 30 ms y 60 ms se empieza a notar un movimiento parcial aunque no continuo; si este periodo es de 60 ms el movimiento se percibe como óptimo y, si se tratase de distintos dibujos que representan el movimiento de, por ejemplo, un caballo, se acaban por rellenar los huecos entre cada una de las imágenes y se percibe la ilusión del recorrido inexistente de sus patas entre ellas. Cuando el lapso de tiempo entre cada punto de luz oscila entre los 60 ms y 200 ms se percibe como casi una línea de puntos superpuestos; si se produce el movimiento en lapsos de más de 200 ms no se percibe más que una línea compacta, sin movimiento alguno. El efecto psicológico que se produce cuando la cadencia de imágenes permite la ilusión del movimiento se denomina efecto *phi*, y es la estrategia fundamental utilizada para la reproducción de imágenes en movimiento que en televisión se suceden con una cadencia de 25 imágenes por segundo (50 campos), y en cine de 24 fotogramas por segundo, herederos de inventos como el *praxinoscopio* que vemos a continuación, que explotaba este efecto proyectando secuencias de imágenes fijas con iluminación de una lámpara posterior, maravillando a los públicos ávidos de nuevas experiencias especulares de hace un par de siglos.

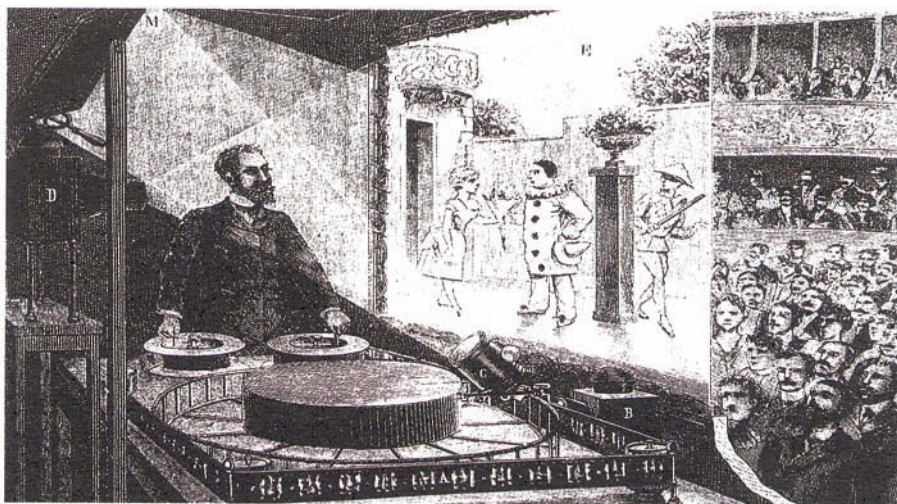


Ilustración 15. Praxinoscopio

En definitiva, y para terminar, todos estos fenómenos y estrategias que fundamentan nuestra percepción, y de las que la mayoría de las veces no somos conscientes, son, sin duda, de importancia capital en el diseño de los equipos audiovisuales, pues el gran reto de la obtención y tratamiento de imágenes, fijas o en movimiento, es emular la forma en que percibimos los estímulos

físicos a través de nuestros sentidos y permitir su reproducción más allá de la limitación espacial y temporal que impone nuestra biología. La gran dificultad en el diseño de estos equipos reside en que, además de que ante los mismos estímulos se pueden producir percepciones diferentes por distintas personas (sin duda con diferencias muy notables entre distintas especies), cada tecnología de visión que desarrollamos debe contemplar las importantes diferencias existentes entre lo que percibimos y los estímulos físicos sobre los que construimos nuestra percepción y que como nuestra propia visión, además, los sistemas artificiales de visión están también sujetos a imperfecciones, limitaciones y condicionantes impuestos por las características físicas de sus componentes y su forma de construcción, como veremos a lo largo del tema.

2.1.3. Fuentes de luz

Tal como venimos insistiendo, aquello que hace posible la visión, y el registro de imágenes fotográficas, es la luz que definimos como un fenómeno físico de naturaleza ondulatoria que implica el desplazamiento de energía electromagnética a través del espacio. La fuente de emisión por excelencia de este tipo de energía es el sol, así como el resto de cuerpos celestes, que, situado en el eje orbital del desplazamiento elíptico simultáneo al propio giro que la Tierra realiza sobre sí misma, es el responsable del suministro energético primario a nuestro planeta y de la regulación de los ciclos vitales.

Pero el sol, aun siendo la fuente de luz natural que tenemos a nuestra disposición de manera más abundante, no está disponible en todo momento y su utilización puede presentarse dificultosa e ineficiente en determinados momentos, ya que no podemos decidir el momento en que la usamos ni controlar sus prestaciones originales, y sólo nos queda adaptarnos a sus características particulares en cada momento. A la luz solar, como a cualquier otra fuente de luz, podemos interponerle en su trayectoria de desplazamiento artefactos que la reflejen, para dirigirla en otra dirección y poder aprovecharla en otro lugar; u otros que la desvíen o refracten, para descomponerla en sus colores integrantes, dispersar su energía o concentrarla; también podemos interponer artefactos que absorban total o parcialmente su energía, para disminuir su intensidad lumínica; o también variar sus características espectrales. Finalmente, podemos interponer elementos que cambien su estructura fisicoquímica utilizando materiales que sean *sensible* a la luz y permitan establecer estrategias para facilitar el registro de las diferentes intensidades energéticas de la luz, es decir, hacer posible la fotografía.

Y para ello, necesitamos luz, y la del sol es una fuente de luz, aunque abundante, muy poco práctica a estos fines, pues es inaccesible para nosotros. No podemos encender el sol cuando queramos, ni decidir las características espectrales del tipo de energía luminosa que emana, y sólo podemos utilizar con mayor o menor aprovechamiento para nuestros fines lo que de manera natural llega hasta nosotros. Para fines fotográficos, como también para fines socioeconómicos y culturales, necesitamos tecnologías de producción de energía luminosa que permitan trascender las limitaciones impuestas por la naturaleza.

2.1.3.1. Tecnologías de producción de energía luminosa

Para evitar esta dependencia del sol en nuestras actividades cotidianas se han venido experimentando e implantando desde tiempos inmemoriales tecnologías destinadas a la obtención de energía, entre otras, las dedicadas al desarrollo de equipamientos para la producción de luz de manera artificial. Entre los métodos de producción de luz más utilizados se encuentran, en orden cronológico de implantación, los siguientes:

- **Combustión:** algunos tipos de materiales de características moleculares específicas al calentarlos mecánicamente por frotamiento, o utilizando una fuente de calor externa, experimentan cambios catastróficos en sus átomos que provocan el desprendimiento de elementos de su estructura en forma de energía electromagnética y calorífica generando una llama de materia incandescente visible: velas, aceite, cerillas o magnesio son materiales que generan luz, y calor. La combustión se puede provocar también mediante el uso de una chispa o arco eléctrico, como por ejemplo utilizando el carbón, que si se sitúa en ambos extremos de la varillas de un arco, y a una distancia determinada, sobre los que circula una corriente eléctrica, se genera una ingente cantidad de luz al producirse la combustión de los elementos próximos de ambas varillas de carbón, tecnología utilizada en las que se conocían antaño como lámparas de arco de carbón, o arco de llama blanca, muy utilizadas a principios del siglo pasado en cine y fotografía, tanto como la obtención de luz con tecnologías que aprovechaban las propiedades de combustión del magnesio, elemento fundamental en los compuestos de pólvora, y que al inducirle la combustión con una chispa producía los clásicos fogonazos tantas veces repetidos en documentos visuales de la época.
- **Incandescencia:** hay otro tipo de materiales que son conductores de electricidad pero que transforman con cierta eficiencia la resistencia que ofrecen a su paso en energía luminosa. Así, haciendo transitar la energía eléctrica por un filamento de carbón, en los inicios, o, posteriormente, insertando un filamento de tungsteno en un cristal, es decir, en una bombilla, se empezó a utilizar la resistencia que oponían al paso de la electricidad de manera eficiente para generar luz, en lo que ha derivado en la extensa red de la que disponemos en la actualidad para su distribución y aprovechamiento en forma de luz, calor y, también, energía mecánica.

En las bombillas clásicas se introducía un filamento recubierto de tungsteno en una atmósfera de gases, mezcla de argón y nitrógeno, que actuaba como resistencia al paso de la corriente eléctrica y emitía energía luminosa siempre que el calor generado estuviese por debajo su punto de fusión, 3.650 °K. El problema de estas bombillas era que el tungsteno se iba desprendiendo del filamento y se depositaba sobre la pared interior del vidrio, ennegreciendo la bombilla y disminuyendo su eficacia lumínica. Cuando el filamento perdía la mayor parte de su recubrimiento se rompía y la bombilla se *fundía*. Todavía muchas de las bombillas que se comercializan tienen estas características, aunque para evitar este fenómeno y mejorar la eficiencia energética se han desarrollado otros métodos de construcción de bombillas a partir de los clásicos. Como consecuencia de la necesidad de construir lámparas pequeñas y potentes que pudieran encajar en los extremos del ala de los aviones a reacción, se empezaron a desarrollar, hacia 1950, nuevos materiales para las tradicionales bombillas y se empezó a experimentar en los laboratorios de General Electric con yodo, un gas halógeno que proporcionaba una luz más intensa y blanca, y se acabó por diseñar un nuevo modelo de lámpara basado en gases halógenos que mejoraba sustancialmente las prestaciones lumínicas y la eficiencia energética. Las actuales lámparas halógenas funcionan en un ciclo que hace que el tungsteno evaporado se combine con el gas halógeno cercano a las paredes de la bombilla, que son de cristal de cuarzo; y al recombinarse ambos elementos, debido a las corrientes de convección que se generan en el interior de la bombilla, el tungsteno vuelve al filamento y se deposita sobre él y, de nuevo, vuelve a liberar halógeno que se reintegra en la atmósfera de la bombilla. Con este ciclo combinado tungsteno-halógeno se evita de manera muy efectiva que se ennegrezcan las paredes y que se funda enseguida la lámpara, aumentando su vida útil, y se obtiene además una luz mucho más intensa y de mejor calidad.

- **Descarga:** más recientemente, y haciendo uso de la corriente eléctrica de manera similar a los arcos de carbón, se han desarrollado equipos que utilizan la descarga de energía eléctri-

ca para generar luz de manera eficiente, haciendo que la corriente eléctrica transite entre dos polos sobre los que existe una diferencia de potencial. Para ello, a diferencia de las tecnologías decimonónicas del arco de carbón, que requerían el constante ajuste de la distancia entre las varillas para paliar el consumo de carbón en los extremos debido a la combustión, se inserta un ánodo y un cátodo, extremo eléctrico positivo y negativo, en una atmósfera gaseosa que al recibir la descarga de energía eléctrica la transforma en luminosa, emitiéndola al exterior.

Hay varios tipos de lámparas de descarga. En las fluorescentes se introduce vapor a baja presión, generalmente sodio o mercurio combinado con otros elementos, y se reviste el interior con fósforos con distintas propiedades de emisión. Al producirse la descarga eléctrica sobre el vapor, este emite radiación ultravioleta, que es absorbida por el fósforo y emitida al exterior en forma de luz visible, cuyas características espectrales dependen del tipo de fósforo que se utilice como recubrimiento. En las lámparas HMI y de xenón se introducen, igualmente, gases en una atmósfera controlada que, al producirse la descarga, emiten energía en forma de luz; estas descargas, se realizan a frecuencias superiores a la de la red eléctrica, que funciona a 50 Hz, para mejorar la eficacia luminosa. En el caso de las lámparas HMI, los gases que contienen son mezcla de mercurio y argón con yoduros y tierras raras, como el tulio y el holmio, compuestos con lo que se consigue la emisión de gran cantidad de luz de muy buena calidad espectral. Las lámparas de xenón contienen también este tipo de gas a baja presión en un tubo de cuarzo y utilizan frecuencias de descarga de 100 Hz, con lo que se consiguen tamaños muy reducidos en las lámparas y una muy alta eficiencia lumínica, siendo muy aptas para usos múltiples; son las que se utilizan, por ejemplo, en aviación o, cada vez más, en los automóviles.

Hay un tipo particular de lámpara de descarga denominado *flash*, de uso específico en fotografía y del que hablaremos más adelante, que se diferencia de los anteriores en que su descarga se produce de una sola vez durante un lapso de tiempo determinado, el necesario para la toma fotográfica. A los equipos de *flash* se les denomina *de luz discontinua*, frente a los equipos de luz continua, que serían el resto (lámparas tungsteno-halógeno, HMI y xenón, aunque estas dos últimas no sean literalmente continuas, pero se agrupan bajo esta denominación porque se perciben como tales).

2.1.3.2. Caracterización de las fuentes de luz

Cada fuente de luz es adecuada para un determinado uso específico, y no todos los equipos para producción luminosa que hay en el mercado se pueden utilizar en todas las situaciones. Por ejemplo, no son iguales las lámparas que se utilizan para iluminación exterior que las que se usan para uso doméstico, como tampoco son iguales las utilizadas para el registro profesional de imágenes o para la iluminación de espectáculos escénicos, que las que podemos encontrar iluminando los espacios de trabajo en otras industrias.

Para determinar las diferencias existentes entre las distintas fuentes de luz debemos analizar con detalle sus características, para así poder elegir aquella que se ajuste de la manera más adecuada al uso que le vamos a dar. Para ello debemos conocer en cada fuente la calidad espectral de la luz que emite y su intensidad, pero también es importante conocer siempre y especialmente a efectos fotográficos, si el flujo luminoso es constante y cómo se distribuye, y si el equipo es eficiente desde el punto de vista del consumo eléctrico y en relación a su coste económico de adquisición, además de si es fácilmente manejable y transportable.

2.1.3.2.1. Calidad espectral. Temperatura de color y balance de blancos

Tal como hemos venido estudiando, la luz visible para nosotros es aquella comprendida en una región del espectro electromagnético con longitudes de onda que van, aproximadamente, desde los 400 nm a los 700 nm. Cualquier emisión de energía electromagnética proveniente de una fuente natural o artificial está conformada, en general, por un conjunto de longitudes de onda que pueden pertenecer a la región visible del espectro, y también pueden contener longitudes de ondas mayores o menores de las que nuestros receptores sensoriales de la visión pueden percibir y nuestro cerebro interpretar.

El sol, la fuente de luz natural por excelencia, emite ondas electromagnéticas en una amplia gama de longitudes de onda, la mayoría de ellas no visibles e incluso muchas de ellas nocivas para la vida y que, afortunadamente, son absorbidas por la atmósfera antes de llegar hasta la superficie terrestre. A lo largo del día, además, la luz solar cambia sus características de manera evidente; para cualquier observador medianamente atento es fácilmente perceptible la diferencia de tonalidades que se van sucediendo en el color del cielo a medida que el día avanza, desde las azuladas mañanas a los anaranjados atardeceres que cualquiera alguna vez se ha parado a disfrutar, pasando por los plomizos grises que se instalan en días de cielos encapotados y tormentas. También cualquiera, sin duda, ha observado alguna vez cómo emerge entre la lluvia un arco iris de colores vivos que invita a la contemplación maravillada. Y es que la atmósfera y los fenómenos atmosféricos actúan frente a los rayos del sol como un gran filtro que puede absorber, reflejar y desviar o refractar la energía que proviene de nuestra estrella más cercana y, como consecuencia de ello, seleccionar sólo unas longitudes de onda determinadas que son las que llegan a nosotros en cada momento del día y cada situación atmosférica particular.

Así, tal como ya explicamos, cuando vemos aparecer el arco iris es porque cada gota está actuando como un diminuto prisma de Newton en el que se está produciendo un fenómeno de refracción en la luz proveniente del sol que lo atraviesa, provocando una desviación distinta para cada longitud de onda particular y descomponiendo la luz del sol en sus colores integrantes. Cuando vemos el cielo azul o naranja es debido a que la rotación terrestre varía la perpendicularidad con que los rayos del sol llegan hasta nosotros, y cuando esta aumenta, como en el atardecer, las longitudes de onda cortas, correspondientes a los azules, son absorbidas y mucho más desviadas por el gran filtro que es la atmósfera, dejando llegar hasta nosotros en línea recta sólo las correspondientes a los tonos anaranjados. Cuando los cielos son grises es porque en la atmósfera se ha interpuesto un filtro adicional al sol, las nubes, que al ser de gran densidad imprimen una reducción drástica a la intensidad de la luz que llega hasta nosotros y nos obligan a activar los mecanismos de la visión nocturna haciendo uso de los receptores al efecto, los bastones, lo cual provoca que la saturación de los colores disminuya.

Todos estos fenómenos que producen cambios en los colores con que percibimos el entorno en nuestra cotidianeidad debemos entenderlos, entonces, como variaciones del conjunto de ondas electromagnéticas que componen la luz que llega hasta nosotros, es decir, en la calidad espectral de esa luz, cuya distribución de energía para cada longitud de onda particular proporcionará tonalidades distintas en el entorno ante la mirada del observador atento.

Cuando creamos luz de manera artificial, tal como vemos con facilidad si comparamos las curvas de distribución espectral de varias lámparas comerciales, el color de la luz que emite una u otra fuente es completamente distinto.

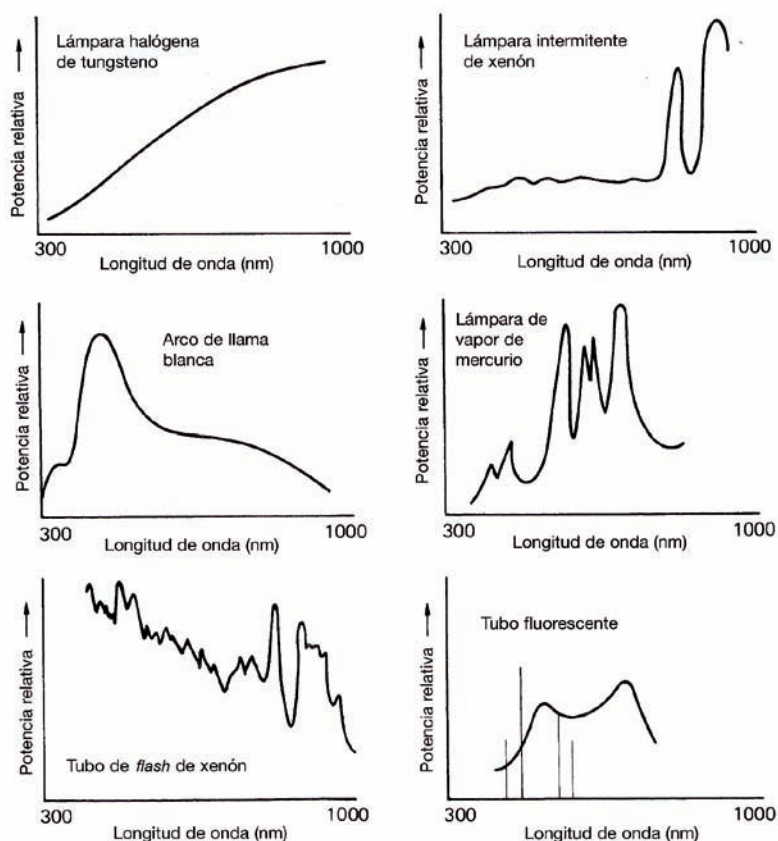


Ilustración 16. Distribución espectral de diversas fuentes (R. Jacobson)

De alguna manera debemos definir las diferencias de color entre las diferentes fuentes, pero, como ya dijimos anteriormente, el gran problema que presenta la definición del color es de denominación. Podemos distinguir cientos de matices cuando se nos muestran a la vista, pero tenemos muy pocos vocablos en el lenguaje para nombrarlos y sólo podemos verbalizar unas pocas decenas de ellos. La categorización de los colores, además de sujeta a las limitaciones propias de la percepción psicofisiológica, está intrínsecamente ligada a la mediación sociocultural y, por ello, no es difícil comprobar cómo existen, por ejemplo, grandes variaciones entre el número de colores que puede llegar a enumerar cada uno de los sexos, con amplia ventaja para el femenino en la mayoría de las culturas, o cómo en diferentes estratos socioculturales el abanico de vocablos para denominar la gama de colores varía de manera muy acusada. Así y todo, darle un nombre a un color no suele servir de mucho en la mayoría de las ocasiones para facilitar la comunicación, y de nada para trabajar profesionalmente con ellos. No es difícil experimentar esta incomunicación en, por ejemplo, una actividad tan común como la de acudir a una tienda de pintura a comprar un bote de un determinado color, operación que puede concluir con éxito si la denominación del color es compartida por vendedor y comprador o, bien al contrario, llevar a desagradables sorpresas cuando el tono naranja «apagado» o «verdoso» que se le pidió al comprador no se parece en nada al que pretendíamos para nuestra pared. Como el lenguaje está sujeto, *per se*, a la obligada interpretación, y ésta por lo general puede no ser la más correcta, se han ideado otros sistemas de denominación, tanto para los colores como para multitud de otros aspectos de importancia mucho más trascendental que el cotidiano acto de ir a comprar pigmento a una tienda para pintar una pared en casa, que eliminen esta limitación y arbitrariedad nominativa. Entre ellos, por ejemplo, se han desarrollado cartas de colores en la que cada uno de ellos se denomina por un número específico, de manera que conociendo su

fórmula de composición de pigmentos, cualquier casa de pintura medianamente profesional, siguiendo con el ejemplo, podrá reconstruir una y otra vez ese color ante la demanda azorada del cliente que pintó una pared y se quedó sin pintura antes de acabarla: bastará con que le dé al vendedor el número de color, único e inconfundible, evitando los calificativos respecto al mismo que sólo podrían llevar a confusión o, si no sabe el número, indicarlo digitalmente sobre la carta de colores de manera incontestable.



Ilustración 17. Cartas de color Pantone

Problemas similares de denominación a los que se tiene para determinar el color de los pigmentos se tienen para conocer la calidad espectral, el color, de una fuente de luz cualquiera. Para eliminar la incertidumbre intrínseca que provoca el lenguaje y adoptar una denominación inequívoca para cada color, se ha desarrollado el concepto de temperatura de color, y de igual manera que para un bote de pintura decimos xxx Pantone, para una luz decimos xxxx °K. La abreviatura °K corresponde a grados Kelvin, en los que el cero absoluto se sitúa en $-273,15\text{ °C}$, es decir, 0 °C corresponden a 273 °K , y para entender qué es y cómo se mide la temperatura de color de una fuente de luz debemos imaginar una fuente de luz cualquiera que está emitiendo energía electromagnética de distinta intensidad para longitudes de onda. Si, por ejemplo, la intensidad de luz emitida fuese muy alta en la zona de los 700 nm y muy baja en los 400 nm tendríamos una luz con un color visiblemente anaranjado o rojo; y si fuese al revés, la luz sería azulada; si hubiera una proporción adecuada de longitudes de onda correspondientes al rojo, al verde y al azul, veríamos una luz blanca.

Para su medición y denominación en °K estableceremos un proceso de comparación entre esta fuente de luz, sea cual sea su distribución espectral, y un patrón constante del que siempre podemos esperar la misma respuesta, por ello se convierte precisamente en patrón, de igual manera que el patrón *metro* tiene una longitud constante e invariable. El patrón invariante que utilizamos para medir el color de la luz no es posible mirarlo y tocarlo porque se trata de un constructo de la física teórica al que se denomina *radiador planckiano*, que se debe entender como un cuerpo que al calentarlo emite radiaciones electromagnéticas de igual intensidad en todas direcciones que van variando su longitud de onda a medida que varía el calor que se le aplica.

Este radiador planckiano se puede concebir como un radiador total o cuerpo negro al que se pueden aplicar las leyes de la física para calcular su comportamiento, que podemos entender de manera intuitiva si observamos las emisiones luminosas que se producen cuando se calienta, por ejemplo, un trozo de hierro. A poco que nos fijemos, podemos ver que el hierro va

variando su color desde los naranjas a los azulados a medida que aumenta la temperatura, es decir, el aumento de la energía calorífica que se le aplica produce una emisión de ondas electromagnéticas de longitudes cada vez menores: con unos pocos grados el hierro emite longitudes de onda largas, de 700 nm, anaranjadas, y si aumentamos la temperatura, las ondas emitidas variarán hasta que veamos ese hierro azulado, es decir, emitirá ondas de longitud de onda menor, alrededor de 400 nm de longitud. Si somos capaces de situar un radiador total o cuerpo negro al lado de una fuente de luz e ideamos un sistema comparador de la luz que ambos cuerpos emiten, al aplicarle calor al *cuerpo negro* hasta que la distribución de energía electromagnética que emite sea idéntica a la de la fuente de luz, podremos entonces decir que la temperatura a la que habíamos calentado el radiador total corresponde con la distribución espectral de energía que emite la fuente, es decir, con su color. De este modo, comparando ambas fuentes y tomando como *nombre* del color la temperatura a que se calentó el radiador total para que emitiera energía luminosa de manera idéntica a la fuente, diremos que esta última tiene una temperatura de color de, por ejemplo, 3.200 °K, que correspondería, en este caso, a una fuente de luz anaranjada. Si hubiésemos tenido que calentar más nuestro cuerpo planckiano hasta, por ejemplo, los 5.500 °K, es porque la fuente sería más azulada y sólo aumentando el calor aplicado podríamos igualar la emisión de ambas, de igual manera que ocurre cuando observamos los efectos del calentamiento en el hierro, que a medida que aumenta el calor se torna más azul, precisamente porque emite longitudes de onda cada vez más cortas a medida que aumenta la temperatura.

El radiador total no existe materialmente, sólo es un concepto de la física teórica que permite calcular la transducción de energía calorífica en electromagnética en un cuerpo ideal no sujeto a otras perturbaciones, pero sí sirve como patrón comparador al realizar lecturas con un espectrómetro de una fuente de luz cualquiera. El espectrómetro utilizado por excelencia en fotografía se denomina *termocolorímetro*, es decir, medidor de temperatura de color, y, como tal, realiza mediante filtrado una medición de varias de las longitudes de onda que componen la fuente de luz para, posteriormente, comparar su intensidad con el patrón de las constantes planckianas, y dar como resultado un determinado número de grados Kelvin que indican la temperatura de color de esa fuente. A continuación, vemos algunos de los valores de temperatura de color de algunas de las fuentes de luz más usuales. Tal como hemos visto en el ejemplo del hierro, nótese que al contrario de lo que el sentido común indica, las luces cálidas son las que menos temperatura de color tienen, y las frías al contrario, es decir, los culturalmente llamados colores cálidos, anaranjados, tienen menos temperatura de color que los fríos, azulados.

<i>Fuente de luz</i>	<i>Temperatura de color aproximada</i>	<i>Valor mired</i>
Vela normal	1930 K	518
Luz diurna al amanecer	2000 K	500
Lámpara de tungsteno en vacío	2400 K	417
Lámpara de acetileno (usada en los primeros trabajos sensitométricos)	2415 K	414
Lámpara de tungsteno rellena de gas (uso general)	2760-2960 K	362-338
Lámpara fluorescente blanca cálida	3000 K	333
Lámpara fotográfica	3200 K	312
Lámpara Photoflood	3400 K	294
Bombilla de flash	3800 K	263
Lámpara fluorescente de luz de día	4500 K	222
Luz diurna directa a mediodía	5400 K	185
Luz diurna fotográfica	5500 K	182
Bombilla de flash azul	6000 K	167
Tubo de flash electrónico	6000 K	167
Luz diurna media (mezcla de luz solar y luz ambiente)	6500 K	154
Lámpara fluorescente igual color	6500 K	154
Cielo azul	12000-18000 K	83-56

Ilustración 18. Temperatura de color de diversas fuentes (R. Jacobson)

Es importante recordar, tal como se explicó en epígrafes precedentes, que existen diferencias notables entre la naturaleza de los fenómenos físicos y la percepción particular que de ellos se realiza, siempre mediada por nuestros sentidos. En el caso de la percepción del color, siempre se tiende a la constancia, es decir, a pesar de que físicamente los estímulos varíen, suele ocurrir que la percepción no lo hace en igual proporción. Como explicamos, es fácil notar la adaptación al blanco que nuestra percepción realiza de manera constante si estamos en el exterior en un día luminoso y entramos a una habitación iluminada por una vela o una tenue bombilla anaranjada: al principio veremos la habitación completamente bañada por una luz naranja, pero a medida que nos habituamos al entorno, iremos viendo poco a poco todas las tonalidades más cercanas al blanco. La temperatura de color de la vela no habrá variado en absoluto, pero, en cambio, nuestra percepción sí, de manera que si al entrar hubiésemos registrado una fotografía y al cabo del rato otra, aunque ambas serían idénticas, nosotros no veríamos lo mismo durante esos dos lapsos de tiempo y la fotografía no se ajustaría a nuestra visión.

Al igual que nuestros órganos receptores tienen unas características específicas y responden a la luminosidad y al color de manera particular, los materiales que utilizamos para registrar lo que nuestros ojos ven tienen una respuesta propia a los estímulos físicos, pero, al contrario que nosotros, no tienen mecanismos de adaptación al entorno basados en constantes perceptivas, a no ser que nosotros los creamos al efecto para que su respuesta sea parecida a la nuestra y *vean* lo mismo que nosotros, aunque eso que ven y vemos sea distinto a lo que físicamente existe. En todos los equipos, consecuencia de este afán de reproducción fiel, es decir, de reproducir el mundo tal como lo vemos nosotros mismos, los sistemas de captación de imágenes fotográficas, y audiovisuales en general, realizan siempre una operación para su puesta en funcionamiento que se denomina *balance de blancos*, y que no es otra cosa que adecuar lo que debe ver el equipo a lo que ven nuestros ojos.

Para realizar el balance de blancos, los equipos tradicionales utilizaban filtros, denominados *de conversión de color*, que se interponían entre la luz y el soporte donde se registraba para que esa fotografía que hacíamos en el interior anaranjado fuese algo más azulada, para lo cual, obviamente, se interponía un filtro algo azulado a la luz, bien a la fuente o bien al equipo de registro. Así, si una película fotográfica estaba preparada para trabajar con luz de día, azulada, calibrada por convención para responder a 5.500 °K, temperatura de color correspondiente a la luz del día según la medición hecha en Washintong D. C. a las 12 del mediodía, y se pretendía fotografiar una escena en un interior con una luz naranja, había que utilizar un filtro azulado; y viceversa, si una película fotográfica estaba calibrada para responder a las luces anaranjadas de interior, a 3.200 °K por convención, y se quería utilizar en el exterior, había que poner un filtro de tonalidades amarillo-naranja para equilibrar el color. Si no se hiciera así, la película preparada para exterior en el interior daría tonos muy anaranjados y la película apta para interior en el exterior daría una imagen completamente azulada.

Para obtener los mejores resultados de reproducción, siempre es necesario realizar una medición de la calidad espectral para conocer la temperatura de color del entorno y adecuarla al soporte de registro con que se está trabajando. Esto se puede realizar con un termocolorímetro de mano, aunque actualmente es una operación que se hace de manera automática y está integrada electrónicamente en las cámaras digitales, que suelen disponer de programas para ajustar la captura a unos entornos u otros o realizar variaciones pequeñas para mejorar la expresividad. No obstante, todavía se siguen utilizando filtros para ello, llamados *de corrección de color*, que se pueden encontrar con facilidad en los establecimientos comerciales que, como vemos a continuación, absorben siempre parte de la luz y, en consecuencia, se ha de aumentar la exposición si esta operación no se realiza de manera automatizada con el fotómetro interno de la cámara.

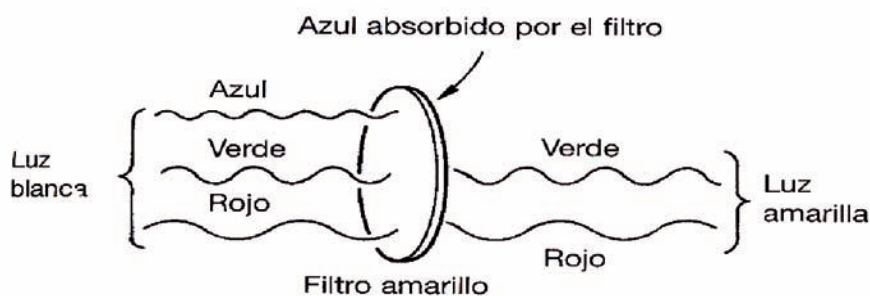


Ilustración 19. Funcionamiento de un filtro

Para determinar la corrección de color que un filtro particular realizará se utilizan los denominados *grados mired*, abreviatura de grados micro-recíprocos, y que sirven para caracterizar los filtros, independientemente de los nombres comerciales que cada marca de equipos fotográficos utilice. Un grado mired equivale a $10^6/^\circ\text{K}$, es decir, una fuente que tenga una temperatura de color de 5.500°K , luz día, tendrá una equivalencia de 182 mireds, y una vela que tiene 1.930°K equivaldrá a 518 mireds. Si tuviéramos el equipo preparado para trabajar con luz de día y quisiéramos fotografiar la vela sin que se viese excesivamente naranja, tendríamos que introducir un filtro, o una corrección electrónica, que hiciese una corrección equivalente a 182-518 mireds, es decir, un filtro de -336 mireds y azulado; los filtros de corrección anaranjados al elevar la temperatura de color llevan impresos grados mired positivos.

Color del filtro	Valor de cambio mired	Aumento de la exposición en puntos
<i>Azul pálido</i>	-81	1
	-56	2/3
	-45	2/3
	-32	1/3
	-18	1/3
	-10	1/3
<i>Ámbar pálido</i>	+10	1/3
	+18	1/3
	+27	1/3
	+35	1/3
	+53	2/3
<i>Rosa salmón</i>	+112	2/3
	+130	2/3
<i>Azul</i>	-130	2

Ilustración 20. Filtros de corrección de color

A pesar de ello, la ejecución de la toma fotográfica se realiza de manera cada vez más desnuda de artificios expresivos, y el trabajo de corrección y ajuste de color, tanto como otros, se posterga a la fase de tratamiento digital para ejecutarlo con intensidad, dadas las altas prestaciones y herramientas específicas que proporciona el software de retoque y el tratamiento fotográfico digital en la actualidad.

2.1.3.2.2. Intensidad luminosa. Constancia y eficiencia

Una vez estudiados los aspectos fundamentales que determinan el trabajo con fuentes de luz en lo relativo a su calidad espectral, a su temperatura de color, vamos a analizar aquellos que nos van a informar de la intensidad luminosa que nos proporciona cualquiera de ellas para poder adecuar su utilización a los fines que persigamos. No es igual iluminar una pequeña habitación de estudio que un estadio olímpico, pues, naturalmente, las características y, sobre todo, la intensidad de la iluminación que necesitaremos será muy diferente.

La unidad de medición de la intensidad luminosa es la *candela*, que se define como la energía luminosa que se emite en $1/60^{\circ}\text{m}^2$ de la superficie de un radiador total a la temperatura de solidificación del platino, 2.042°K . Es decir, la energía que emite esa pequeña superficie calentada a una temperatura conocida, la de solidificación del platino, equivale a una candela, magnitud invariable que se puede obtener utilizando la física teórica y que, como la temperatura de color, nos sirve de patrón.

Para determinar el flujo luminoso que se emite en el espacio se utiliza el *lumen*, que se define como la cantidad de energía que emite una candela en un ángulo sólido. Un ángulo sólido, o también llamado *estereorradián*, es el que se forma con un radio de 1 m sobre una superficie de 1 m^2 . Y la iluminancia de una superficie se mide en *lux*, que se define como un lumen que incide sobre la superficie de 1 m^2 .

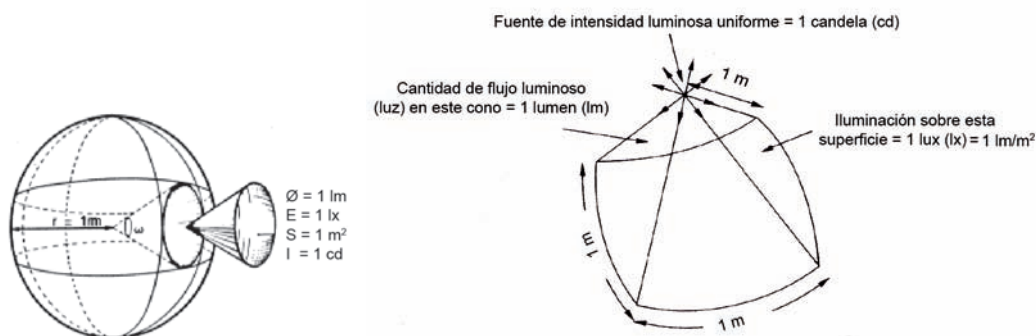


Ilustración 21. Unidades de iluminación

Una regla fundamental que debemos recordar es la *ley inversa de los cuadrados*, que viene a decir que las ondas electromagnéticas, y entre ellas la luz visible, por supuesto, en su desplazamiento a través de otro medio van disminuyendo su intensidad de manera proporcional al cuadrado de la distancia que recorren. Es decir, tal y como vemos en el gráfico, cuando la distancia aumenta el doble, la iluminación disminuye al cuadrado, de manera que la intensidad luminosa que llega a una determinada superficie a 2 m es $1/4$ parte de la que llega a 1 m, no la mitad como se podría intuir de manera errónea. Si estuviésemos a 4 m no sería $1/8$, sino $1/16$ de la luz que llega a 1 m, de manera que la iluminación disminuye de manera drástica en función de la distancia.

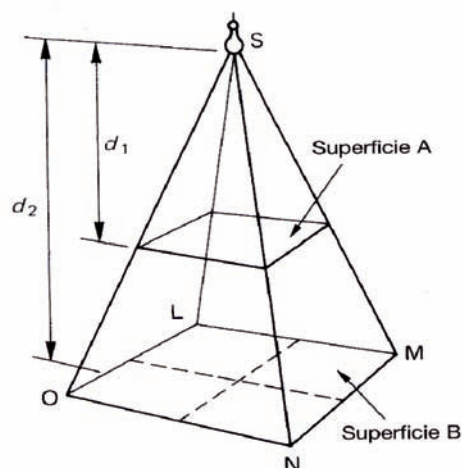


Ilustración 22. Ley inversa de los cuadrados

No es infrecuente cuando se compra un equipo de iluminación encontrar entre la documentación técnica el gráfico con la curva de distribución polar que muestra la forma en que se distribuye la energía en el espacio, tal como podemos ver a continuación para una lámpara puntual o también llamada *spot*, esquema que resultará muy útil cuando se deban realizar diseños de iluminación complejos con multitud de fuentes.

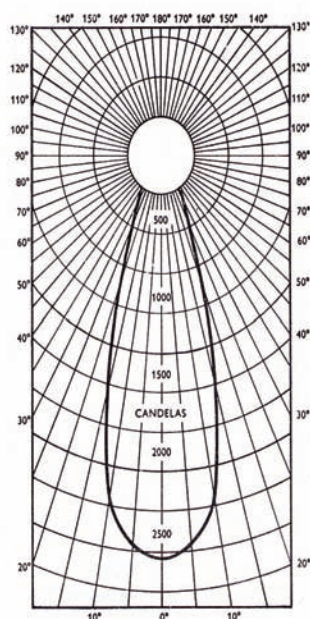


Ilustración 23. Curva de distribución polar de una fuente de luz

Finalmente, y en definitiva, además de conocer sus propiedades lumínicas y su respuesta, se necesita que las fuentes de luz sean eficaces en función del uso a que están destinadas. Sería ineficaz, por ejemplo, utilizar una luz pobre en radiaciones ultravioleta para registrar imágenes con material muy sensible al uv; y será eficaz, por ejemplo, utilizar una luz roja en el laboratorio de revelado fotoquímico para trabajar con papel fotográfico ortocromático, es decir, que no sea sensible a esas longitudes de onda, y gracias a ello poder disponer de luz durante el proceso de ampliación.

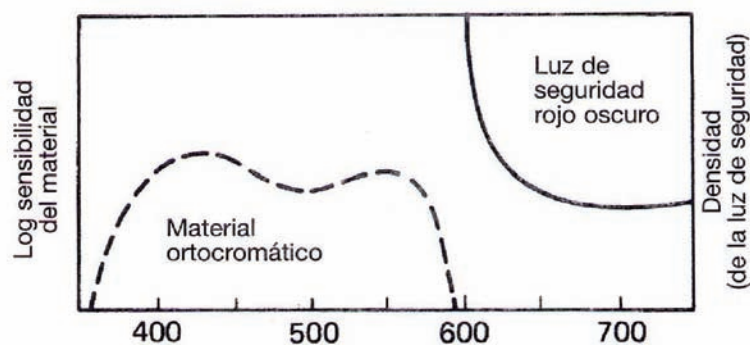


Ilustración 24. Sensibilidad del soporte y emisión espectral de la fuente

También se intenta mejorar la eficacia en cuanto al consumo eléctrico requerido por las lámparas, y en esa dirección se dirige gran parte de la investigación industrial aplicada actual. Es necesario, en el trabajo cotidiano del fotógrafo profesional, aunar esa eficacia de consumo con una rentabilidad económica adecuada a los costes de los equipos, entre los que se incluyen las fuentes de luz, pues la adecuada relación entre ambos puede suponer la supervivencia económica o, por el contrario, la catástrofe empresarial. A continuación, veremos algunos de los equipos de iluminación más habituales en el trabajo fotográfico.

2.1.3.3. Equipos de iluminación en fotografía profesional. El *flash*

Estos iluminantes que vemos abajo, los populares *cuarzos* o *naranjitos* o las más modernas lámparas halógenas, son de luz continua, es decir, generan energía luminosa de manera ininterrumpida.





Ilustración 25. Equipos de iluminación continua

Pero hay otro tipo especial de iluminante, utilizado sólo en fotografía, que sólo actúa durante el tiempo necesario para registrar la escena en el soporte fotográfico, ni antes ni después. Estos equipos se denominan *flash*, y proporcionan sólo un breve pero intenso destello de corta duración, de manera que, en ese corto período de funcionamiento, generan toda la iluminación suficiente para registrar la escena a fotografiar, haciendo un uso más eficiente de la energía luminosa al producirse de manera sincronizada al disparo de la cámara fotográfica.

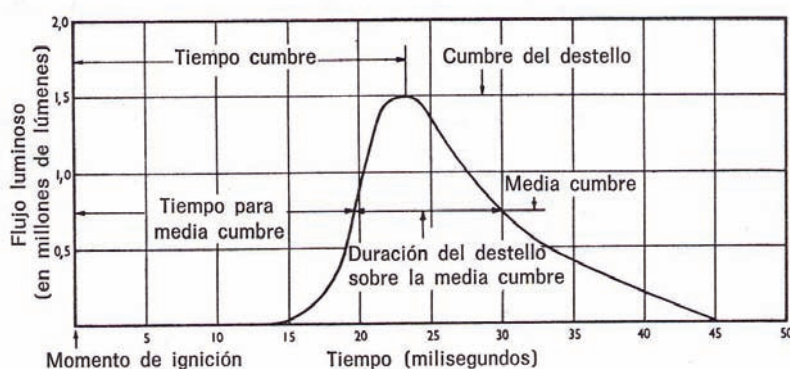


Ilustración 26. Funcionamiento del *flash*

La acumulación de energía se realiza utilizando un condensador que se descarga en el momento del disparo del *flash*, y que, como limitación, necesita cierto tiempo de recuperación para poder producir la siguiente descarga. El acumulador de energía puede estar situado en el propio *flash* y se puede regular su potencia desde ahí, o ser independiente y permitir la conexión de varios equipos de *flash*.



Ilustración 27. Equipo de *flash* de estudio

Generalmente, los *flashes* de estudio y la mayoría de los que encontramos para acoplar a la cámara no disponen de automatismos para limitar la intensidad del flujo luminoso y se ha de regular su potencia manualmente, si se dispone del regulador, o en caso de que sea muy rudimentario, simplemente aumentar la distancia al sujeto o cerrar el diafragma de la cámara, o lo que es lo mismo, aumentar el nº f. Para ello se puede utilizar esta sencilla fórmula, partiendo del llamado *nº guía*, que informa de la potencia del *flash*, $\text{nº guía} = \text{nº f} * D$, siendo D la distancia, y conociendo el nº guía del *flash* y el nº f con que se está diafragmando la cámara, podemos determinar la distancia óptima a que debe estar el *flash* del sujeto para realizar el disparo y registrar la escena con la intensidad luminosa adecuada. Algunos *flashes* que se pueden acoplar a la cámara disponen de tablas en la parte posterior y diversos interruptores para operar en diferentes situaciones, actualmente ya controlados digitalmente como el que vemos a continuación, aunque todo ello suele ser de manejo ineficiente y difícil cuando se realiza una fotografía que requiere cierta inmediatez en el disparo.



Ilustración 28. *Flash* electrónico de cámara

Los equipos de *flash* más eficientes son los automatizados, ya que permiten, utilizando un circuito electrónico que evalúa la energía luminosa necesaria que han de suministrar, el máximo aprovechamiento del disparo, al proporcionar sólo la intensidad luminosa que se necesita para el registro fotográfico durante el tiempo necesario. Es decir, este tipo de *flashes* automáticos se disparan de manera sincronizada con la cámara pero analizan mediante un detector fotoeléctrico la cantidad de luz que ha llegado a la escena, y si es insuficiente, siguen suministrando energía luminosa o, en caso contrario, interrumpen el flujo de manera automática utilizando un circuito electrónico, similar al que se muestra abajo, integrado con el resto de controles de la cámara en cuanto a sensibilidad del soporte de registro, velocidad de obturación y apertura de diafragma.

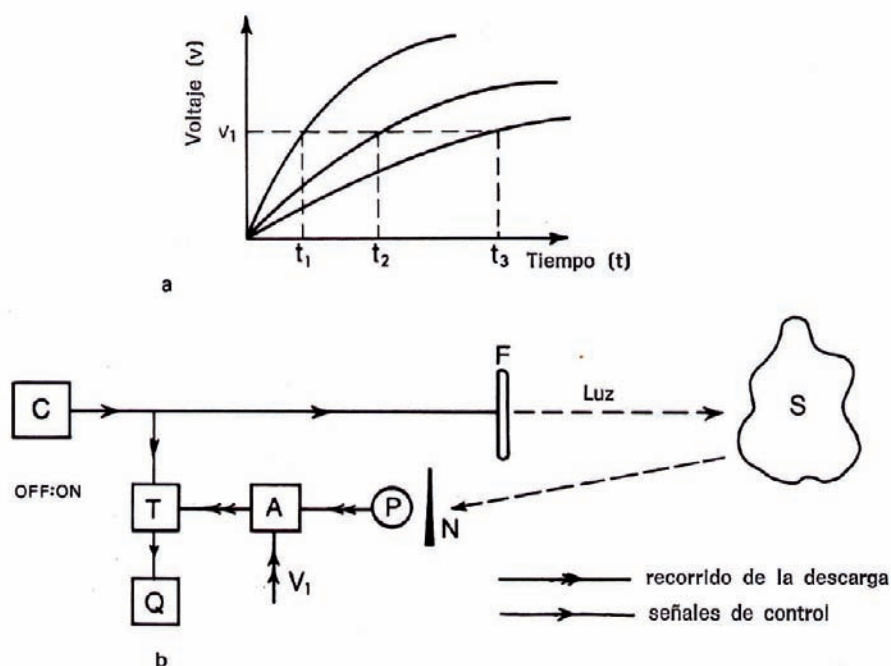


Ilustración 29. Funcionamiento del *flash* electrónico

Por lo general, se suelen disparar simultáneamente varios *flashes* y para ello se utilizan cables de sincronización o células fotoeléctricas que reciben una señal emitida por el *flash* maestro al que están enclavados el resto. Es decir, uno de los *flashes* se sincroniza con el equipo de cámara y el resto lo hacen con éste para realizar un disparo simultáneo de todos que se activa mediante un impulso eléctrico a través de un cable de sincronización o una señal IR recogida por una célula fotoeléctrica.



Ilustración 30. Soportes de iluminación en estudio

Los equipos profesionales de *flash* suelen disponer también de la llamada *luz de modelado*, que permite iluminar la escena previamente al momento fotográfico y se apagan automáticamente en el momento del disparo de la fotografía. Estas luces de apoyo pueden servir también para realizar la fotografía como luces continuas, aunque su uso habitual consiste en regular su potencia de manera análoga a la potencia de disparo de la bombilla del *flash* para emular la distribución de luminosidades que recibirá la escena desde cada fuente de luz y poder tener una idea aproximada del valor de luminancia en que se va a registrar cada elemento de la escena.



Ilustración 31. Controles en *flash* de estudio

En definitiva, y tal como podemos ver a continuación, para el registro fotográfico utilizamos varios iluminantes de calidades e intensidades determinadas y situados estratégicamente en el espacio en relación a la escena-sujeto a fotografiar, conformando el esquema de iluminación que nos parezca más pertinente en función de la fotografía que vamos a realizar.

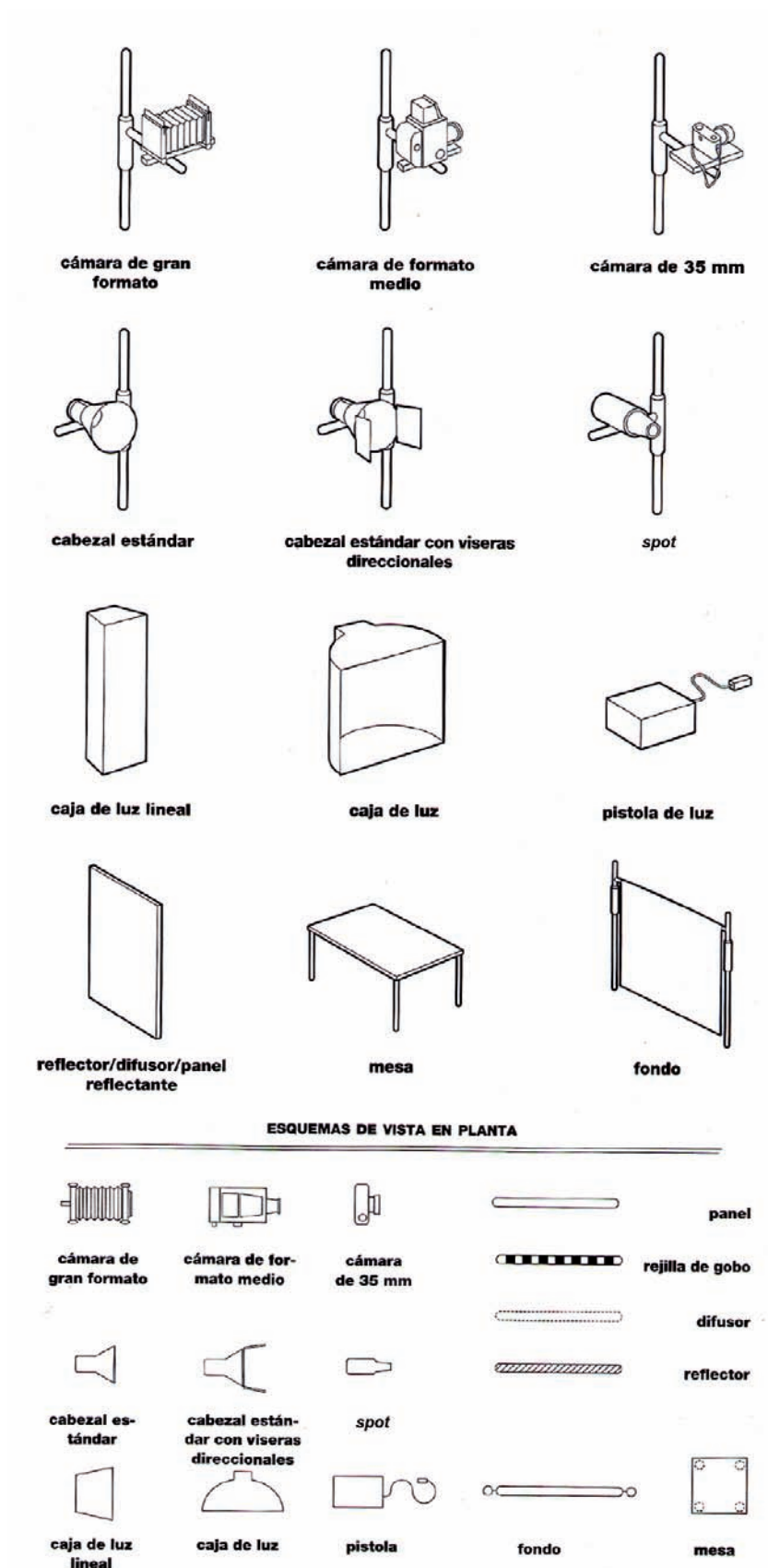


Ilustración 32. Símbolos utilizados en diseño de iluminación

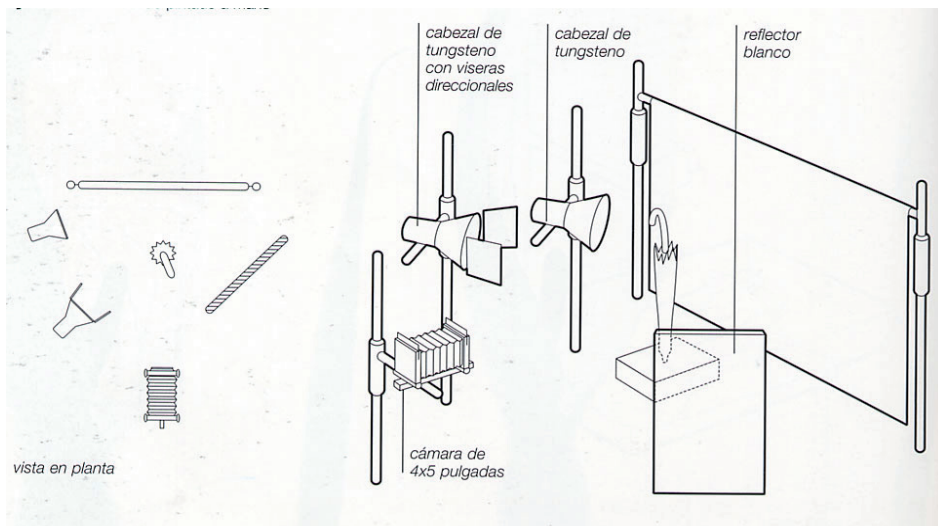


Ilustración 33. Esquema de iluminación

Para regular la luz de los iluminantes, además de potenciómetros que permitan decidir la intensidad el disparo, podemos utilizar accesorios para dispersar, concentrar, difuminar la luz o variar su color y, por supuesto, para colocarlos y estabilizarlos de manera adecuada.



Ilustración 34. Accesorios de *flash*

Para cada toma fotográfica se ha de seleccionar con cuidado, además de la calidad colorimétrica de la luz, su intensidad y, para ello, se utiliza el fotómetro, es decir el medidor de luz, imprescindible en el trabajo cotidiano como referencia para establecer los controles óptimos en la cámara en cuanto a velocidad de obturación y apertura de diafragma en función de la sensibilidad del soporte sobre el que vayamos a registrar la escena. La medición del fotómetro se puede realizar de manera automática o manual desde la propia cámara, pues todas disponen de circuitos electrónicos al efecto y sólo se diferencian en su precisión y rapidez de cálculo y el número de puntos de luz que se pueden evaluar, o utilizando fotómetros de mano. En cualquier caso, siempre es conveniente realizar varias mediciones de la escena e, independientemente de los valores óptimos que indique el fotómetro, decidir según los fines perseguidos la forma de utilizar los controles de cámara para realizar la toma de manera óptima. Los fotómetros están calibrados según los valores con que se construyó uno de los más populares, el fotómetro Weston, y entienden que cualquier escena se puede registrar sin dificultad considerando que el valor medio de luminosidades más común es el equivalente a un 18 % gris. Esto supone que cuando se realiza una medición de la luminosidad de cualquier parte de la escena, el fotómetro proporciona los valores para que esa parte se represente sobre el soporte con un valor de gris 18 %. Con ello, si sólo hiciésemos una medición a toda la escena, las diferentes luminosidades de cada una de las partes entrarían en el rango dinámico normal y todas serían registradas, pero si, en cambio, midiésemos sólo una parte de la escena mucho más gris que ese 18 % o más blanca, y registrásemos la escena con ese valor, la parte medida se registraría con ese gris 18 % y el resto de manera proporcional hacia el blanco y el negro, es decir, el rango de luminosidades literalmente se desplazaría obteniendo un registro diferente al original.



Ilustración 35. Fotómetro de mano

Por esta razón, una única lectura promediada del conjunto, y mucho menos una única lectura de una zona puntual de la escena, suele servir poco a efectos de registro fotográfico, y siempre es necesario medir cierto número de valores de luminancias, como norma general, al menos, las altas luces y las sombras de la escena, para determinar el rango dinámico de la escena y, después decidir la forma en que se va a registrar. Para facilitar la resolución de los problemas que puedan surgir de una mala toma, ya la fotografía tradicional utilizaba un sistema de horquillado, de manera que la misma fotografía se captaba con los valores que se habían decidido y se subexponía y sobreexponía, por lo general, cerrando y abriendo medio o un punto de diafragma, para así obtener tres tomas de la misma escena y poder elegir la más adecuada,

posibilidad que las cámaras digitales profesionales ofrecen como una más de la multitud de funciones disponibles en los menús para su configuración.

El trabajo de calidad, en cualquier caso y en definitiva, requiere que cada toma sea única y se elabore minuciosamente la escenografía y la iluminación, por lo que el estudio se torna como el lugar de trabajo imprescindible para la fotografía profesional.



Ilustración 36. Plató fotográfico

2.2. PROCESOS FOTOQUÍMICOS DE OBTENCIÓN DE IMÁGENES

Aunque en la actualidad disponemos de muy alta tecnología para el registro fotográfico, que, además, es accesible a costes razonables, estos desarrollos técnicos tan sofisticados de que disfrutamos son el fruto de muchos siglos de investigación y una larga lista de inventos que se impusieron en su época con mayor o menor fortuna.

Los intentos de obtención de imágenes de manera automática, es decir, sin la necesidad de la intervención de la mano del pintor o del iluminador de códigos comenzaron a ser posibles cuando se inventó la xilografía y, más adelante, la imprenta, como ya vimos en el tema anterior. No obstante, se trataba todavía de métodos semiautomáticos, pues aún se necesitaba la intervención del grabador para la realización de los moldes que sirvieran para la posterior elaboración masiva de copias. Con el descubrimiento de las propiedades de algunos materiales que reaccionaban ante la luz y el posterior desarrollo de las tecnologías fotográficas, los procesos de obtención y reproducción de imágenes se hicieron del todo automáticos y se situaron en el vértice del desarrollo industrial y cultural contemporáneo.

Ya era conocida la forma en que la plata reaccionaba ante la luz y el oscurecimiento que en ella se producía cuando se exponía ante ella, pero no se obtuvieron las primeras impresiones de imágenes hasta que Schulze, en 1725, probó cómo una botella que contenía ácido nítrico, yeso y plata se oscurecía en la parte que le llegaba luz, y, colocando recortes de papel alrededor de la

botella, pudo *imprimir* las primeras letras que se registraban con este método fotográfico sobre el compuesto químico que contenía. Poco después, en 1802, Wedgood impregnó una pieza de cuero con nitrato de plata obteniendo el mismo efecto al proyectar dibujos sobre su superficie, pero desafortunadamente no consiguió un método de fijación y los dibujos se degradaban rápidamente. Y no fue hasta 1826, fecha en que se data la primera fotografía conocida hasta el momento, cuando Nicéphore Niépce consiguió desarrollar un método de registro de imágenes que las hacía perdurables sobre el soporte. Recubrió un papel con cloruro de plata y lo expuso desde su ventana al sol obteniendo el registro de la vista que desde allí se obtenía, y después lo recubrió con ácido nítrico, consiguiendo fijar esa imagen, que reproducimos a continuación, sobre el papel.



Ilustración 37. *Punto de vista desde la ventana del Gras*, Niépce, 1826 (M-L. Sougez)

Más tarde utilizó betún de judea para impregnar el papel, que en lugar de ennegrecerse al quedar expuesto a la luz se blanquea y se hace insoluble, y obtuvo así una imagen positiva de la escena, aunque invertida. A las imágenes que por estos métodos obtenía las llamó *heliografías*, es decir, dibujos al sol.

Se ha atribuido en alguna ocasión la invención de la fotografía a Daguerre, quien, de manera simultánea aunque algo posterior a Niépce, desarrolló un método de registro de imágenes que se popularizó rápidamente y con el que obtuvo gran éxito comercial. Es conocida la correspondencia que Daguerre había mantenido con Niépce, a través de los hermanos Chevalier, prestigiosos desarrolladores de objetivos y lentes para astronomía y fotografía, y ha habido muchas disputas en relación a la paternidad de la fotografía, resueltas siempre a favor del inventor de la heliografía. Daguerre era un pintor de paisajes que realizaba para los teatros los llamados *dioramas*, panorámicas pintadas en pantallas translúcidas que se iluminaban con luz diurna mediante obturadores haciendo fundidos y efectos visuales, de gran éxito en la época, y que desarrolló un método de registro de imágenes llamado *daguerrotipo*. El daguerrotipo consistía en una cámara oscura en la que se insertaba una placa de cobre plateada muy pulida que previamente había sido suspendida en una solución de yoduro, y que sobre su superficie, por tanto, se había formando yoduro de plata. Esta placa se exponía a la luz durante unos 30 minutos y después se introducía en un recipiente con una solución que producía vapor de mercurio que atacaba las zonas expuestas dejando sobre ellas un depósito blanco; luego se lavaba con sal de cocina, y como resultado final se obtenía una imagen positiva sobre la placa.

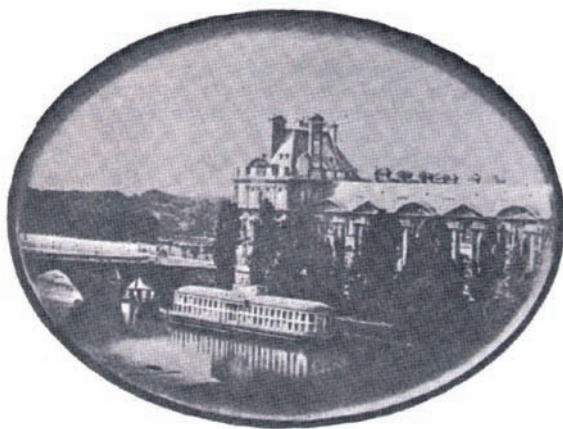


Ilustración 38. *Las Tullerías y el Sena*, Daguerre, 1839 (M-L. Sougez)

Después de patentar el procedimiento, a partir de 1837, Daguerre consiguió hacerlo comercializable, y desde ese momento los daguerrotipistas aparecieron rápidamente en todas las ciudades y rentabilizaron el invento con enorme éxito, convirtiéndolo en la forma más popular de obtención de imágenes fotográficas. A lo largo de las décadas restantes del siglo XIX, el daguerrotipo se utilizó masivamente para el retrato y los paisajes, y se calcula que en París, hacia 1849, se producían unas 100.000 daguerrotipias al año; en Nueva York, en 1850, se contabilizaron hasta 71 estudios de daguerrotipia. A Daguerre se le puede atribuir, en consecuencia, el hecho de haber popularizado la fotografía con su particular procedimiento de obtención de imágenes, aunque las primeras que se obtuvieron se realizaron con una tecnología que no fue de su invención, sino de Niépce.

Las técnicas que comenzó a utilizar Niépce para la obtención de imágenes se fueron perfeccionando con las aportaciones y métodos desarrollados por otros inventores, quienes fueron impulsando el perfeccionamiento de las tecnologías fotográficas con procedimientos como el utilizado para registrar los denominados *calotipos* o *talbotipos*, tal como los bautizó su inventor Henry Fox Talbot, que se obtenían desde 1834 sumergiendo papel en cloruro de plata y luego superponiendo encima objetos que se impresionaban en negativo por contacto, técnica que abrió el camino a la realización de copias por contacto y, consecuentemente, a la obtención de copias positivas.



Ilustración 39. *Dibujo fotogénico*, W. H. Fox Talbot, 1839 (M-L. Sougez)

A partir de 1841 este método se perfeccionó con la utilización de yoduro de plata y yoduro potásico tratados con nitrato de plata y ácido acético, cuya combinación servía para recubrir el papel, que debía ser de buena calidad para evitar la contaminación y facilitaba el registro fotográfico con exposiciones de tan sólo 5 minutos. Una vez realizada la exposición el papel se recubría de nuevo con nitrato de plata y se revelaba en unos 2 minutos, con lo que se conseguía con mucha rapidez un negativo fijado sobre papel sobre el que se podían realizar copias por contacto sin ninguna dificultad y, en consecuencia, reproducir el original de manera efectiva y en grandes tiradas, técnica que permitió que en 1844 se publicara el primer libro del mundo ilustrado con fotografía, *El lápiz de la naturaleza*, en el que se reproducían especies botánicas con un detalle y una fidelidad hasta entonces desconocida.

Los cada vez más numerosos procedimientos y técnicas de obtención de imágenes dieron lugar a una dura guerra de patentes entre sus inventores, pues cada proceso llevaba aparejada su comercialización y los grandes beneficios que ello suponía, dada la creciente popularización de la fotografía y sus múltiples usos sociales y científicos.

En 1850 Blanquart-Évrard patentó la obtención de imágenes sobre papel a la albúmina, sistema que no había sido inscrito en el registro de patentes por Talbot, y por ello se pudo utilizar libremente hasta 1890, rompiendo así el monopolio de Talbot que pretendía dominar el mercado con sus derechos de uso de las patentes de registro y copia fotográfica de su invención. A partir de 1851 Scott Archer empezó a desarrollar los métodos de obtención de imágenes al colodión (un compuesto, mezcla de algodón de pólvora con alcohol y éter), o también llamados de placa húmeda, que consistían en derramar una mezcla viscosa de colodión sobre la superficie limpia de una placa de cristal que luego en el cuarto oscuro, se sumergía en una solución de nitrato de plata para, todavía húmeda, exponerla al motivo a fotografía durante unos escasos 30 segundos, acortando de esta manera muchísimo los tiempos de exposición necesarios. Esa placa húmeda expuesta se llevaba de nuevo al cuarto oscuro antes de que se secase y se revelaba con ácido para posteriormente fijarla con cianuro y lavarla dejando la imagen estabilizada sobre el cristal. Esta técnica posibilitó la construcción de pequeños laboratorios portátiles y la obtención rápida de imágenes, lo cual permitió sobremanera el desarrollo de la fotografía de viajes y del retrato, que se convirtió en la nueva seña de identidad de una creciente burguesía que caracterizaba una sociedad industrial en la que los retratistas se implantaban como profesionales por doquier, en estudios estables en las ciudades o en negocios itinerantes que recorrían toda la geografía o exploraban otros países y lugares exóticos.



Ilustración 40. Coloso de Ibsambul, Nubia, 1849-1850, calotipo (M-L Sougez)

Los peligros inherentes a la manipulación del colodión, que al contener pólvora era altamente inflamable, se vieron minimizados cuando se empezó a sustituir ese aglutinante por la gelatina, obtenida a partir de los huesos y restos de animales, una vez demostrados sus beneficios por Maddox, quien en 1871 publicó los resultados de sus investigaciones en el *British Journal of Photography*, revista de referencia en la época en la que se recogían los cada vez mas numerosos procedimientos y técnicas de obtención de imágenes por métodos fotográficos. Por esa época, Burgess comenzó a comercializar la emulsión de bromuro de plata y gelatina ya embotellada en un intento de hacer accesible la técnica al máximo, aunque no dio muy buenos resultados debido a la facilidad con que se contaminaba la solución embotellada dados los rudimentarios sistemas de envasado. En 1883 se dejó de utilizar definitivamente el colodión y en 1873 Kennet consiguió elaborar y comercializar placas recubiertas con una solución de gelatina y nitrato de plata en forma de emulsión seca lista para su exposición, lo que dio inicio a una boyante industria de fabricación de placas secas, *The Liverpool Dry Plate & Co.*, que hacia 1880 vendía emulsiones que permitían tiempos de exposición de 1/25 de segundo. Un antiguo empleado de banca y fabricante de placas, George Eastman, a quien vemos en la fotografía de abajo, construyó en 1888 la primera cámara portátil que funcionaba con película en rollo, dando la mayor facilidad posible a cualquiera para que se convirtiese en fotógrafo con el famoso eslógan promocional de la que bautizó como cámara Kodak nº 1, «apriete usted el botón y nosotros nos encargamos del resto», que dio el pistoletazo de salida a la popularización masiva de la fotografía tal como la conocemos en nuestros días.

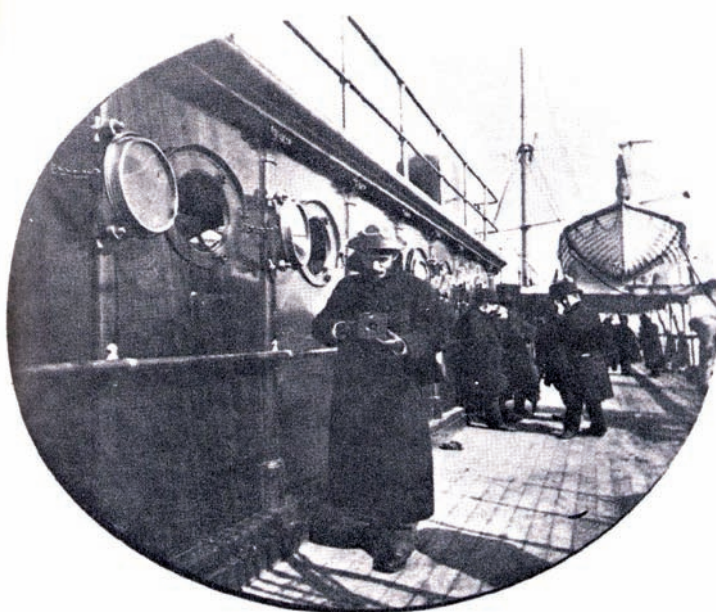


Ilustración 41. George Eastman con una cámara Kodak, 1890 (M-L. Sougez)

Poco después, a partir de 1889 y en asociación con Edison, Eastman empezó a comercializar la emulsión seca sobre película de nitrocelulosa en rollo de 70 mm, que más tarde cortarían por la mitad y perforarían en los costados, dando lugar a la película cinematográfica en el formato estándar de 35 mm que todavía en la actualidad se proyecta en nuestros cines, aunque con cambios sustanciales en su composición química, pues la nitrocelulosa también es altamente inflamable y ha provocado no pocos incendios en salas cinematográficas hasta que fue sustituida por otros materiales plásticos.

Durante el periodo de 1885 a 1904 y a partir de las investigaciones de Vogel sobre la respuesta espectral de los compuestos químicos, se crean emulsiones ortocromáticas y pancromáticas, y

se empiezan a desarrollar sistemas de obtención de imágenes en color basados en la superposición de distintos registros fotográficos tintados, como el *Pathecolor*, o la utilización de filtros tricolor sobre las emulsiones en la captación y la proyección, aunque no es hasta 1935 cuando se crea una película para la obtención efectiva de imágenes en color que pueda utilizarse de manera masiva con resultados aceptables, la llamada entonces *Kodachrome*.

Tal como relatamos, y a continuación analizaremos, todos los procesos fotoquímicos de obtención de imágenes que han dominado el registro fotográfico desde los inicios de la fotografía hasta fechas muy recientes están basados en la particular reacción fisicoquímica que se produce en los compuestos que contienen átomos de plata cuando se exponen a la energía electromagnética, sea esta visible a nuestros ojos, es decir, energía luminosa, o no.

2.2.1. Formación de la imagen fotográfica en b/n

Curiosamente, y tal como hemos visto, aunque el ennegrecimiento de los compuestos de plata una vez expuestos a la luz era un fenómeno bien conocido desde la Antigüedad y se sitúa en la base del desarrollo de los métodos de obtención de imágenes desde los inicios de la fotografía, el procedimiento subyacente sólo pudo ser explicado en fechas no muy lejanas, en 1938, cuando desarrollaron sus teorías al efecto los investigadores Gurney y Mott, quienes mostraron, tal como podemos ver a continuación, cómo se producía la oxidación de los átomos de plata cuando se combinaban con elementos haluros, como el bromo, cloro o yodo, derivando en compuestos químicos con forma estructural cristalina.

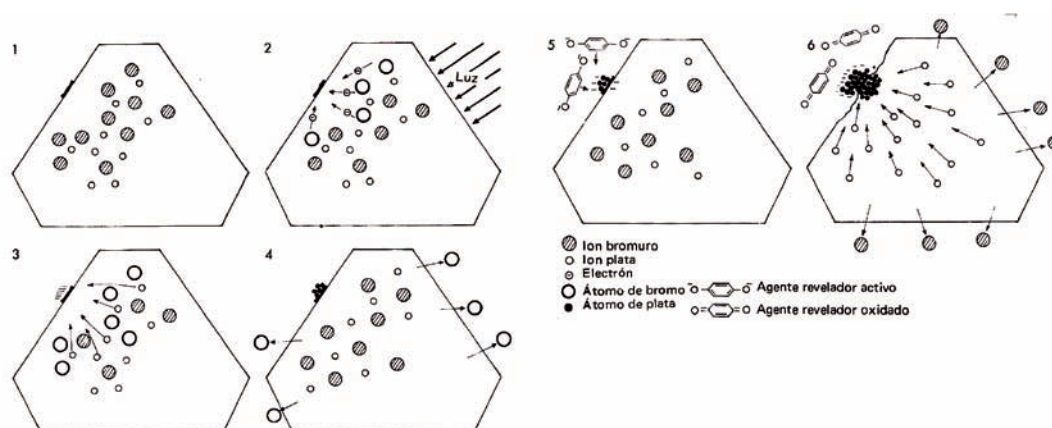


Ilustración 42. Teoría de Gurney-Mott de formación de imagen en haluros de plata

Tal como se ve en el ejemplo, el compuesto de iones de bromo y de plata pierde su estabilidad eléctrica al recibir una cierta cantidad de energía luminosa que provoca el desprendimiento de algunos electrones de la corteza exterior de los iones bromuro. Al ser desplazados del cristal, esos electrones son atrapados en las impurezas del exterior, donde se acumulan, lo cual genera una carga eléctrica negativa que atrae a los iones de plata hacia ellos provocando su oxidación, que se manifiesta en su ennegrecimiento, y permitiendo la vuelta a la estabilidad eléctrica en el interior del cristal. Si hay más aporte de energía fotoeléctrica se continúa produciendo la misma reacción fisicoquímica de manera proporcional a la intensidad luminosa que llegue hasta la superficie del cristal, y una vez que cesa el bombardeo de fotones, el cristal permanece estable y queda acumulado en el exterior el registro plata oxidada proporcional a los electrones que llegaron, esto es, a la intensidad luminosa recibida. En un proceso químico posterior,

el denominado *revelado*, se amplifica la reacción hasta conseguir que esos gránulos de plata oxidada acumulada en el exterior se perciban como visibles, provocando la multiplicación de su número con la utilización de compuestos químicos que activan de nuevo el proceso, llamados *agentes reveladores*, que lo que hacen es añadir carga eléctrica al exterior del cristal para atraer de nuevo los átomos de plata del interior y provocar su oxidación, su ennegrecimiento. Una vez obtenida la amplificación del efecto deseada, se detienen las reacciones provocadas por el revelado con un baño ácido de *paro* y luego se eliminan todos los residuos dejando en la emulsión sólo los átomos de plata oxidados, en lo que se conoce como *fijado*, obteniendo finalmente una imagen que microscópicamente está formada por multitud de gránulos de plata oxidada cuyo volumen es proporcional a la cantidad de luz recibida durante la exposición a lo largo de toda la superficie de la emulsión.

Para una mejor comprensión del proceso podemos imaginar los cambios que producirían sobre una hipotética emulsión de cuatro cristales de haluro de plata, por ejemplo de bromuro de plata por seguir el ejemplo anterior, cuatro luces situadas de manera lineal con intensidad creciente de izquierda a derecha. Después de la exposición y el revelado, en el cristal del extremo izquierdo casi no se produciría plata, porque llegaría poca luz, y el ennegrecimiento sería mayor a medida que mirásemos lo que ocurre más a la derecha, en cuyo extremo la cantidad de plata generada sería máxima. Al corresponder el mayor ennegrecimiento a la mayor luminosidad, en lugar de ser una imagen tal como la vemos, sería una imagen negativa del motivo fotografiado, por ello hablaríamos de un negativo. Si hiciéramos una copia de ese negativo proyectando luz a través de él, las zonas más ennegrecidas dejarían pasar menos energía luminosa que las que no lo están, y así, en la exposición realizada sobre la emulsión resultante, habríamos obtenido un positivo del original.

Para la fabricación de las emulsiones fotoquímicas, que hasta hace bien poco se utilizaban masivamente para el registro fotográfico, se mezclaba nitrato plata y haluros solubles, en el proceso conocido como *emulsificación* y luego se calentaba esta emulsión para provocar el crecimiento de los cristales de haluro de plata y facilitar su distribución espacial, en el llamado *primer curado*; posteriormente, se lavaba la emulsión y se volvía a calentar añadiendo un sensibilizador de sulfuro (*segundo curado*) para que quedara en la superficie y sirviera de trampa de electrones. Finalmente, se añadían tintes, endurecedores y humectantes a una solución que se mezclaba y quedaba suspendida sobre gelatina, que ha demostrado ser estupenda como aglutinante, pues una vez calentada es capaz de disolver el nitrato de plata y los haluros, y cuando se seca se endurece y es muy estable a lo largo del tiempo; si después se moja durante el revelado deja penetrar con facilidad los agentes reveladores y luego vuelve a endurecerse y quedar estable para contener los átomos de plata oxidados sin ninguna degradación a lo largo de muchos años. Podemos ver, a continuación, un esquema de la estructura de una película fotoquímica tradicional con los haluros de plata de la emulsión suspendidos en gelatina.

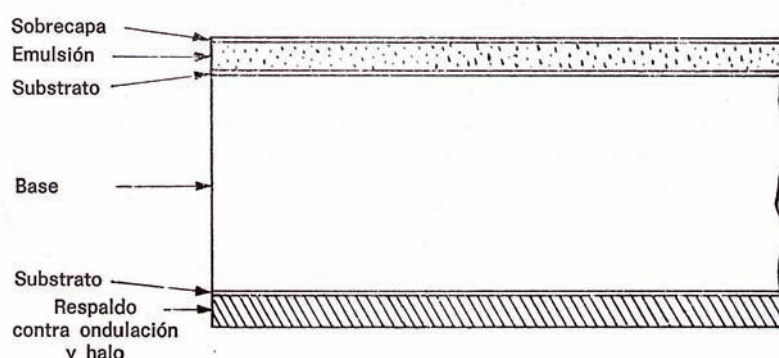


Ilustración 43. Sección de una película tradicional en b/n (R. Jacobson)

Los compuestos utilizados y la forma en que se producía la emulsificación y los sucesivos curados era determinante para definir el tamaño y forma de los cristales de plata y, en consecuencia, determinaba la sensibilidad de la película y su respuesta sensitométrica a la luz, aspectos que estudiaremos a continuación, dando lugar a gran variedad de tipos de películas desarrolladas en función del uso específico a que estaban destinadas, algunas fabricadas para el registro de áreas del espectro electromagnético cuyas longitudes de onda no son visibles para nosotros, como la luz infrarroja o ultravioleta y los rayos X o gamma, de múltiples usos en el ámbito científico, desde la medicina a la botánica y la zoología, o la astronomía y la exploración espacial.

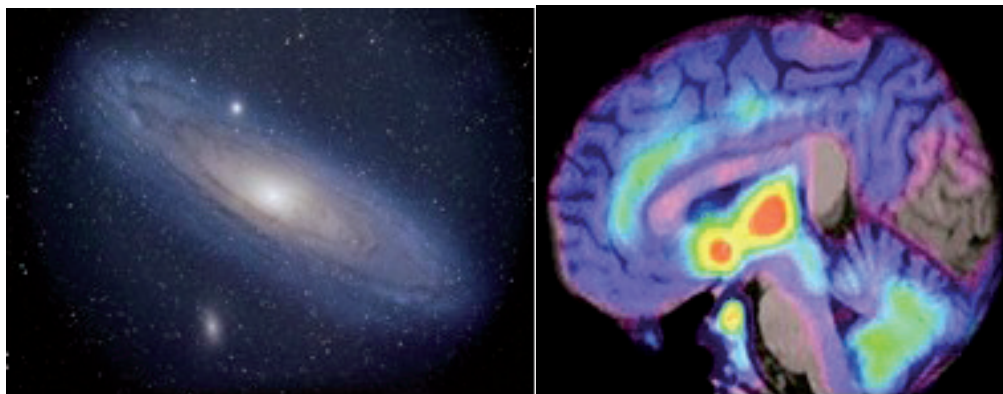


Ilustración 44. Imágenes de uso científico

2.2.2. Sensibilidad espectral. Sensitometría

Los materiales sensibles a la luz basados en los compuestos de plata, al igual que cualquier otra sustancia que pueda sufrir cambios provocados por la exposición a ondas electromagnéticas, sólo reaccionan ante determinadas longitudes de onda, ya que para activar los procesos de cambio fisicoquímico a nivel molecular, necesitan una particular cantidad de energía mínima que, como vimos, varía en función de la longitud de onda.

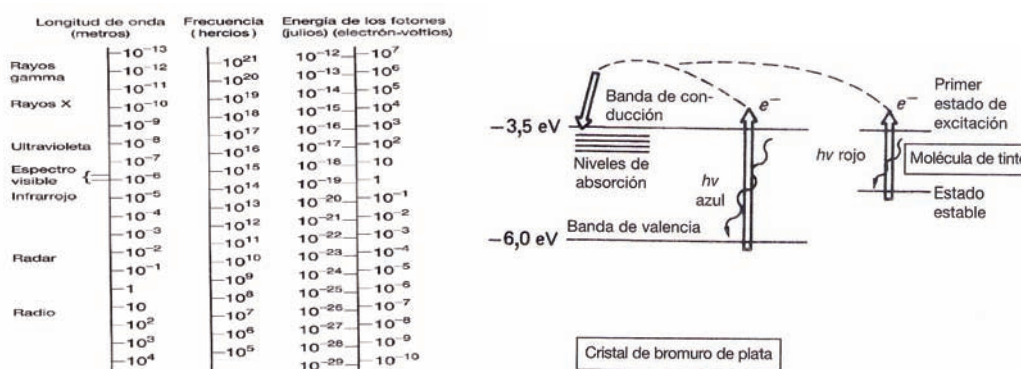


Ilustración 45. Banda de conducción del bromuro de plata (R. Jacobson)

El bromuro de plata, por ejemplo, necesita una energía mínima de $-2,5 \text{ eV}$ (electrones-voltio) para que el electrón exterior de su corteza se eleve a la banda de conducción y se desprenda del núcleo, provocando los cambios en el cristal haluro que ya vimos cuando estudiamos la teoría de Gurney-Mott para explicar la formación de imagen fotoquímica. Esos $-2,5 \text{ eV}$ corresponden a la energía que portan las ondas electromagnéticas cuya longitud de onda es de 490 nm , es decir, el

bromuro de plata es sólo sensible a esas longitudes de onda y a las menores, correspondientes a los azules y los invisibles ultravioletas (aunque también a los rayos X y gamma, de cuyo efecto se protege la emulsión en un envase que absorba estas radiaciones), que transportan suficiente cantidad de energía para provocar cambios fisicoquímicos en su estructura molecular. Esta es la razón por la que las primeras emulsiones fotográficas en blanco y negro sólo registraban las longitudes de onda correspondientes a la zona de los azules, tal como vemos a continuación para todos los compuestos de plata, aunque ya entrado el siglo XX se empezaron a desarrollar emulsiones tintadas que eran sensibles a todas las longitudes de onda visibles, incluso al infrarrojo, dando lugar a películas en blanco y negro ortocromáticas y pancromáticas, es decir, aquellas que registraban en escala de grises las distintas luminosidades del color de manera más correcta (*orto*), y aquellas que registraban con fidelidad todos los colores (*pan*).

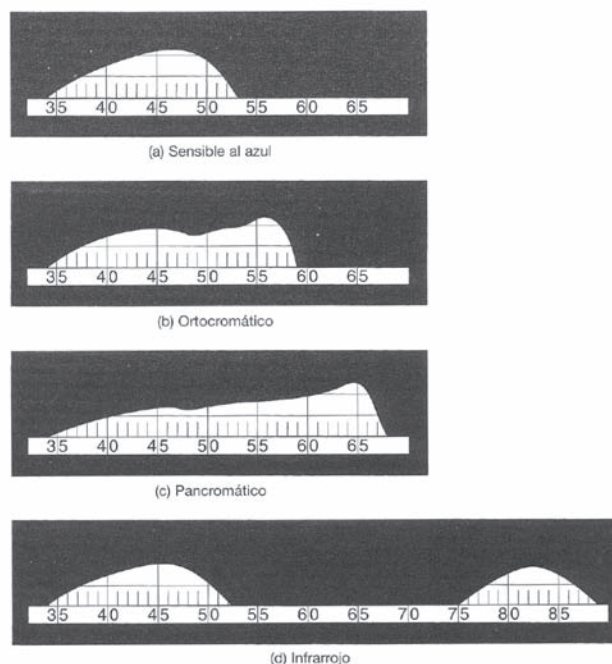


Ilustración 46. Sensibilidad cromática (R. Jacobson)

Es decir, en emulsiones de bromuro de plata en blanco y negro, sin tratar con colorantes, el registro de una manzana roja al lado de otra verde y otra azul sólo nos permitiría distinguir la azul, mientras que la verde y la roja serían iguales, pues la emulsión no sería sensible a esas longitudes de onda; en una película b/n ortocromática distinguiríamos la azul y la verde, y en el lugar de la roja no veríamos manzana alguna, pues estas emulsiones, aun tomándose como correctas en su afán de reproducción fiel del color, sólo eran sensibles a los azules y los verdes; en una emulsión de b/n pancromática, podríamos distinguir las tres manzanas sin dificultad. Todavía hoy los papeles para copia fotográfica en blanco y negro basados en las propiedades de la plata permiten trabajar en el laboratorio con una tenue luz roja porque no están sensibilizados a esa particular longitud de onda, con el fin de facilitar un mínimo de visibilidad en el cuarto oscuro del laboratorio durante el proceso de ampliación y revelado.

La respuesta espectral de un material se determina utilizando un analizador de espectro, también llamado *espectrógrafo*, que analiza el material sensible haciendo uso de filtros que permiten medir la respuesta para cada longitud de onda, dando lugar a gráficos como el que podemos ver a continuación, correspondiente a una película de amplio uso para el registro fotoquímico en color.

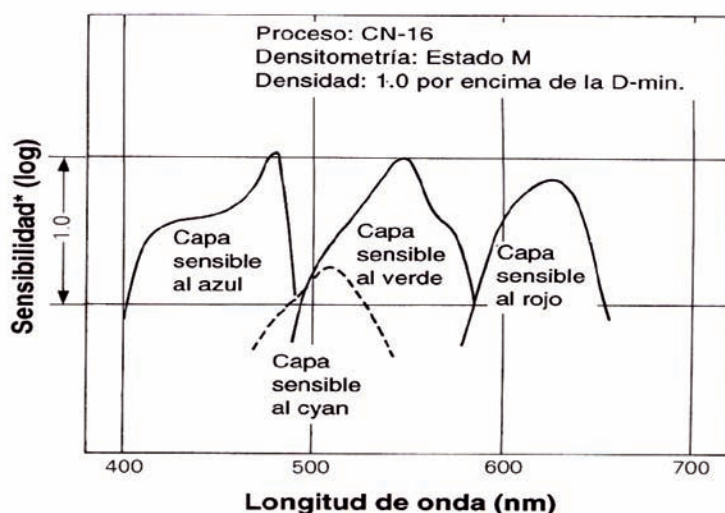


Ilustración 47. Sensibilidad cromática en una película tradicional

A continuación, podemos ver también la respuesta espectral de un ccd monocromo y de otro en color en cada una de las capas que la conforman, pudiéndose observar cómo el primero es sensible a longitudes de onda no visibles, correspondientes al infrarrojo, característica que se puede aprovechar para otros usos. Por ejemplo, si se omite el uso del filtro adecuado para la absorción de esas longitudes de onda, el sensor es útil para la detección mediante satélites de incendios forestales o para el estudio climatológico, aunque para aplicaciones concretas se diseñan, en todo caso, sensores de características específicas que permitan el registro de la parte del espectro electromagnético a explorar.

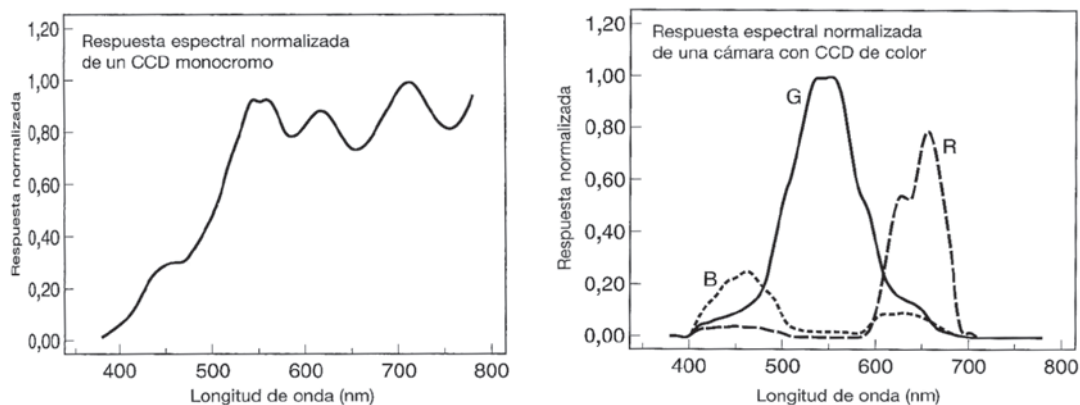


Ilustración 48. Sensibilidad del sensor ccd (R. Jacobson)

Como vemos a continuación, cada material tiene, además, una *curva característica*, también llamada *curva H&D* en honor a Hurter y Driffield, quienes la desarrollaron, de respuesta ante la exposición luminosa recibida, encontrando siempre un punto a partir del cual el soporte empieza a reaccionar. El eje vertical determina la densidad, equivalente al ennegrecimiento producido en los sistemas de registro basados en los compuestos de plata, y el horizontal, la exposición recibida. Es decir, para una pequeña cantidad de luz se produce una pequeña densidad, y a medida que aumenta, la densidad también.

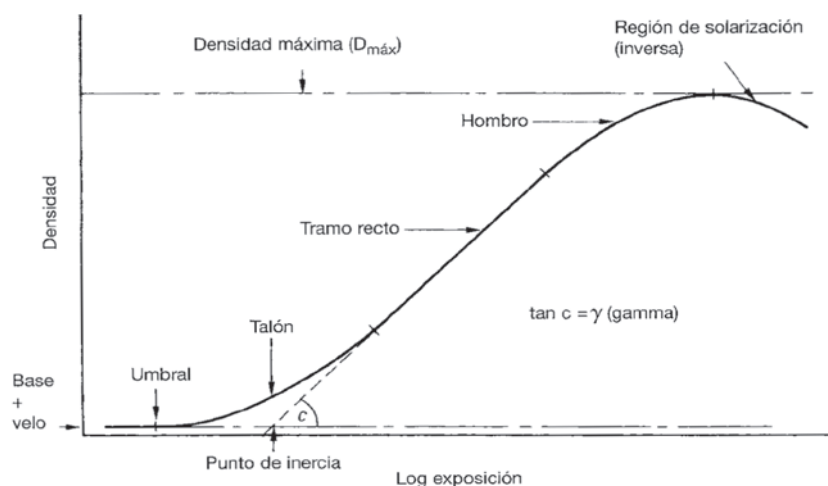


Ilustración 49. Curva de H&D (R. Jacobson)

La cantidad de luz que llega a la emulsión depende de la energía luminosa, del brillo del motivo, y del tiempo que esté llegando esa energía, pues a mayor intensidad o mayor tiempo, más energía llega. La exposición es, por tanto, el resultado del tiempo por la intensidad, y el que sea una magnitud logarítmica y no aritmética responde a la ley de Webber-Fechner ya explicada, según la cual las diferencias de luminosidad se perciben de manera logarítmica, es decir, para percibir el doble necesitamos que la intensidad se eleve al cuadrado, es decir, que sea una magnitud logarítmica.

Podemos imaginar que tenemos una emulsión a la que exponeríamos a un solo punto de luz, a medida que $\text{Log}E$ es mayor, es decir, es mayor el resultado del producto de la intensidad o el tiempo porque variamos uno o ambos parámetros, ese punto lo situaríamos más a la derecha del gráfico y, en consecuencia, nos daría una densidad mayor, puesto que provocaría más ennegrecimiento en la plata, lo cual correspondería a un punto del eje vertical más elevado. En realidad, el motivo a fotografiar está compuesto por diversas luminosidades y la película se expone durante un determinado tiempo para registrarlo. Es decir, las partes menos luminosas quedarían a la izquierda del gráfico y las más luminosas a la derecha, de manera que la parte de esa curva característica comprendida entre ambos puntos reflejaría la diferencia de luminosidades de la escena, dando asimismo lugar a una diferencia de densidades en el eje vertical, siempre dentro de los límites de la emulsión, de su latitud de exposición. Si la parte de la recta, que representa el valor 1 de gamma, mantuviese una inclinación de 45° sobre el eje horizontal, entonces cada $\text{Log}E$ se representaría de manera proporcional con su valor de densidad correspondiente (a mayor $\text{Log}E$, mayor densidad, puesto que la plata se ennegrece más, y por eso se forma una imagen negativa del original); en cambio, si esa recta está más o menos inclinada de 45° , es decir con un valor gamma mayor o menor de 1 (el valor de gamma se calcula como resultado del valor de la tangente que forma ese ángulo con el eje horizontal), entonces cualquier valor de $\text{Log}E$ se representaría con un valor de densidad mayor o menor del que le correspondería, lo que provocaría, respectivamente, que un punto de poca luminosidad se representase como un punto muy denso, y viceversa.

En resumen, cada soporte para el registro fotográfico tiene una curva característica (cuya forma final también dependerá del tipo de proceso de revelado que se realice) y, como podemos adivinar con facilidad, ante la misma escena a fotografiar cada soporte específico reaccionará de manera distinta, lo cual determinaba que hubiera tanta variedad de materiales fotográficos

(también ocurre igual con los sensores actuales, como veremos después), y tanta dificultad para establecer cuál es la reproducción correcta de una escena, ya que, obviamente, tal extremo no existe, pues siempre depende de las características del soporte y, por extensión, del sistema de captación y reproducción utilizado. En blanco y negro encontraremos sobre todo diferencias de contraste entre los distintos soportes, pero también las variaciones resultantes de la sensibilidad espectral del material; en los materiales en color, las diferencias son mucho más notables al observador común y cualquiera ha podido experimentar cómo después de hacer una estupenda foto con nuestra flamante cámara digital vemos distintos colores en cuanto a saturación y luminosidad en cada uno de los monitores en que visualizamos o cuando hacemos copias sobre papel. A continuación, podemos ver curvas características de materiales de copia distintos, en este caso papel basado en materiales fotoquímicos con distintos recubrimientos, que darán resultados distintos sobre la misma imagen, al presentar valores de gamma distintos; los papeles brillantes más altos que los mate, lo que, a efectos prácticos, supondrá una mayor viveza de los negros que serán mucho más profundos que en el papel mate.

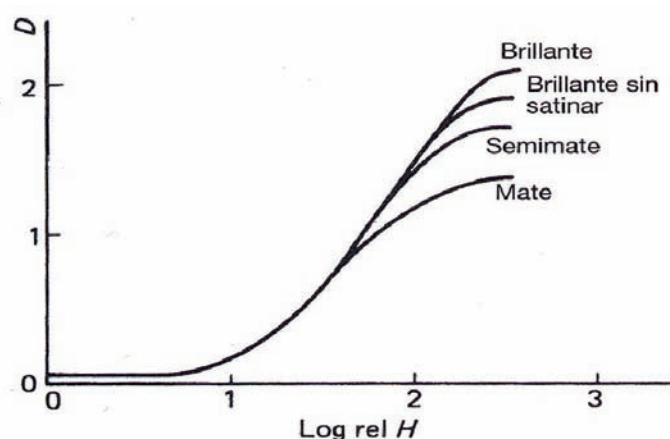


Ilustración 50. Contraste en distintos tipos de papel de copia tradicional

Se debe distinguir entre respuesta o sensibilidad espectral, tal como explicábamos más arriba. Podemos definir la *respuesta* como la capacidad del soporte para registrar un determinado grupo de longitudes de onda del espectro electromagnético, y la *sensibilidad*, como la exposición mínima que necesita el soporte para producir imagen. Es decir, la *sensibilidad espectral* se refiere a las longitudes de onda que es capaz de registrar, y la *sensibilidad del material*, a la energía luminosa mínima necesaria para poder registrar cualquiera de las longitudes de onda a las que es sensible el soporte y que llegan hasta él desde el motivo a fotografiar.

Para determinar la sensibilidad de un soporte se ha estandarizado un sistema de medición desde la International Standard Organization (ISO) basado en el trazado de una curva de sensibilidad para unas condiciones de revelado específicas en la que se marcan dos puntos, M y N, distantes 1,30 unidades logarítmicas de exposición y 0,80 de densidad. El tiempo de revelado se selecciona cuando se cumple esta condición y, en ese momento, se calcula la sensibilidad de la película a partir de la fórmula $S=0,80/H_m$, donde H es la exposición en lux segundos correspondiente al punto M.

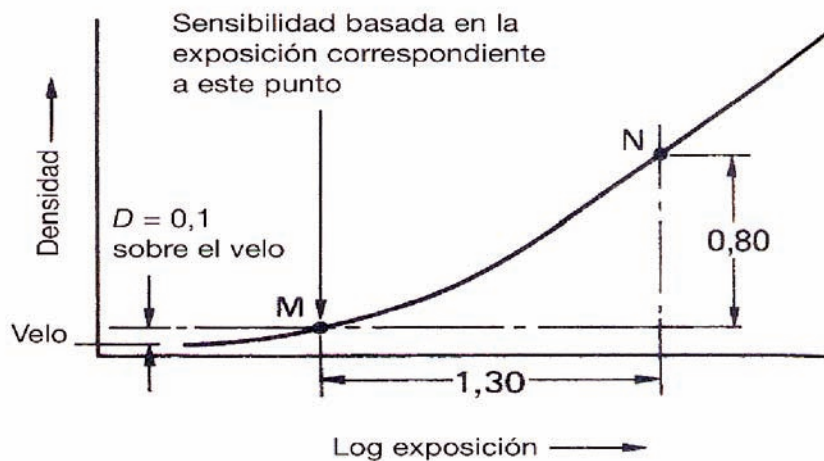


Ilustración 51. Sistema iso de medición de la sensibilidad (R. Jacobson)

Tal como vemos en el gráfico siguiente, los valores estandarizados se expresan en unidades aritméticas, de manera que aumentar el doble o disminuir a la mitad significa que se necesita la mitad o el doble de luminosidad para hacerla reaccionar. En el gráfico podemos observar también la correspondencia en magnitudes logarítmicas, resultado de agrupar la norma iso con la alemana DIN, aunque cada vez es más común utilizar solo la iso. Una película con sensibilidad 100/21 necesita la mitad de luz para reaccionar que una de 200/24, y si la película fuera de 50/18, necesitaría el doble, ya que ésta es menos sensible.

Gradación de sensibilidad ISO	
Aritmética (S)	Logarítmica (S°)
3200	36
2500	35
2000	34
1600	33
1250	32
1000	31
800	30
650	29
500	28
400	27
320	26
250	25
200	24
160	23
125	22
100	21
80	20
64	19
50	18
40	17
32	16
25	15
20	14
16	13
12	12
10	11
8	10
6	9
5	8
4	7

Ilustración 52. Sensibilidad ISO/DIN

En el caso de la fotografía en color la medición de la sensibilidad se realiza de manera similar, aunque promediando la respuesta de cada uno de los registros correspondiente a cada color; la forma de obtención de fotografías en color la estudiaremos con detalle en el epígrafe siguiente. En los sistemas de fotografía digital se suelen utilizar la aparición de ruido en la imagen para calcular el valor de sensibilidad, y aunque su cálculo es bastante complejo a efectos prácticos se trabaja con la misma escala aritmética que para la fotografía tradicional; sobre fotografía digital hablaremos un poco más adelante.

2.2.3. Principios de la fotografía en color

En epígrafes anteriores ya vimos que la distinción de los colores sólo es una cualidad de la percepción y que varía de unas especies a otras y, en última instancia, remite a la característica forma de percibir el fenómeno físico de naturaleza electromagnética al que denominamos *luz*, en tanto que visible a nuestros ojos. Newton ya demostró que la luz blanca se podía descomponer en los diversos colores que forman el espectro visible, y experimentos posteriores de Young y Hemholtz demostraron la teoría tricromática del color, según la cual con la adecuada combinación de sólo tres colores (rojo, verde y azul), llamados primarios, se podrían obtener mediante su adición otros cualesquiera, incluido el blanco. Pero no fue hasta 1871 que se pudo aplicar este importante descubrimiento a la fotografía, cuando Maxwell diseñó un sistema de registro en tres negativos separados a los que se interponía el filtro de color primario correspondiente durante el registro y la posterior proyección, tal como podemos ver en el siguiente gráfico.

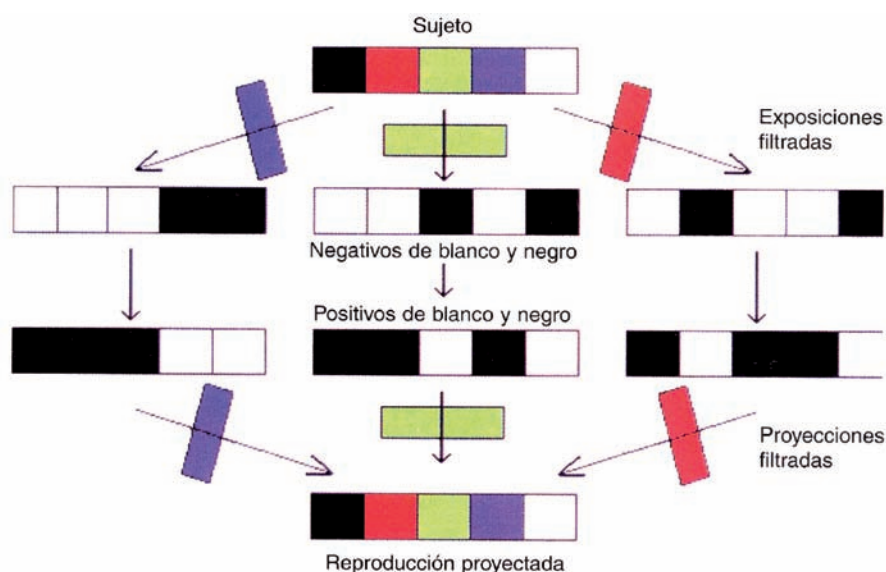


Ilustración 53. Sistema aditivo de formación de color

El sistema era poco práctico, puesto que no se disponía de tecnología adecuada para la fabricación de cámaras de captación de registro triple que lo hicieran viable comercialmente, y aunque se intentarían otros métodos, como por ejemplo el ideado por Du Hauron, fundamentado en la superposición de un mosaico a modo de filtro sobre la emulsión, pero que tampoco se pudo utilizar de manera efectiva dado el alto grado de absorción de luz que realizaba el filtro y la baja sensibilidad de las emulsiones de la época. Sin embargo, estos fundamentos conceptuales están en la base de todos los sistemas actuales de captación y reproducción de imágenes digitales que, como veremos más adelante, son de tres sensores o uno, dependiendo de si

utilizan tres elementos separados para el registro de la escena o uno, al que se le superpone un mosaico a modo de filtro.

La teoría aditiva de formación del color es útil cuando disponemos de un sistema que permita sumar cada uno de los colores primarios, método que es válido para cualquier sistema de captación o de proyección de imágenes que permita manipular y agregar individualmente cada uno de ellos para formar el color resultante final, tales como los sistemas digitales de captación y cualquier sistema de proyección electrónica. Si tenemos tres luces con cada uno de los colores primarios cuya intensidad podemos regular y las proyectamos sobre el mismo espacio de una cartulina (estaremos sumando sus efectos y variando su intensidad), podremos comprobar con facilidad cómo podemos obtener todos los colores.

Sin embargo, el color que llega hasta nosotros desde esa cartulina, al igual que los colores que percibimos en nuestro entorno, lo hace después de haberse reflejado en ella, y si hacemos la prueba de proyectar una sola luz blanca, o la mezcla de las tres primarias en la proporción adecuada que da blanco e intercambiamos cartulinas de diversos colores, haremos tal distinción entre la blanca y las otras porque los pigmentos de que esté compuesta cada una de ellas absorberán parte de esa luz blanca y reflejarán otra parte, sólo la que determinará su color característico. Si la cartulina la vemos negra es, obviamente, porque absorbe todos los colores, todas las longitudes de onda visibles; si la vemos roja, es porque absorbe todos los colores excepto el rojo, es decir, las longitudes de onda de aproximadamente 700 nm. El color que estamos viendo entonces de cada cartulina no se está formando por adición de luces, sino por sustracción a la luz blanca de algunos de sus componentes. Si la luz que proyectásemos fuese de color distinto al blanco, el efecto que produciría sería otro y no veríamos la cartulina exactamente del mismo color que si la observásemos con luz blanca. Esta es la razón fundamental por la que cuando se observa cualquier reproducción fotográfica es importante hacerlo con luz blanca normalizada, es decir, con luz cuya temperatura de color sea 5.500 °K, o 6.500 °K en algunos equipos, porque los resultados pueden distorsionarse en función de las condiciones lumínicas de observación. Los sistemas fotográficos tradicionales que utilizan tecnologías fotoquímicas para la captación y reproducción del color están fundamentados en la teoría sustractiva del color, tal como mostramos en el siguiente gráfico, para facilitar el proceso y la construcción de los equipos de captación y reproducción.

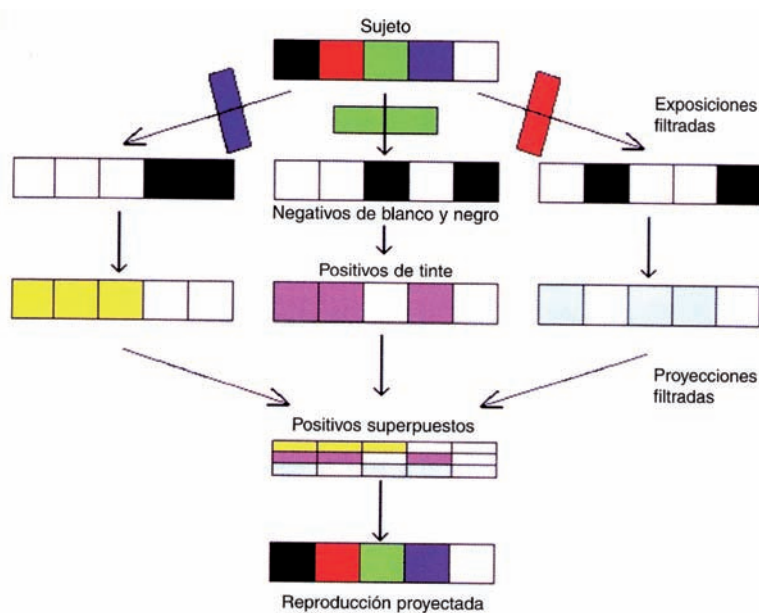


Ilustración 54. Sistema sustractivo de formación de color

Para ello, en lugar de fabricar un engorroso sistema triple de captación y proyección, se utiliza un emparedado de al menos tres o más emulsiones, cada una de ellas sensible a uno de los colores primarios para después generar una tinción con los colores secundarios correspondientes a cada una de las capas proporcional a la exposición recibida, tal como podemos ver en el ejemplo siguiente, correspondiente a la película FUJI NPS 160, que utilizan cuatro capas para mejorar la calidad.

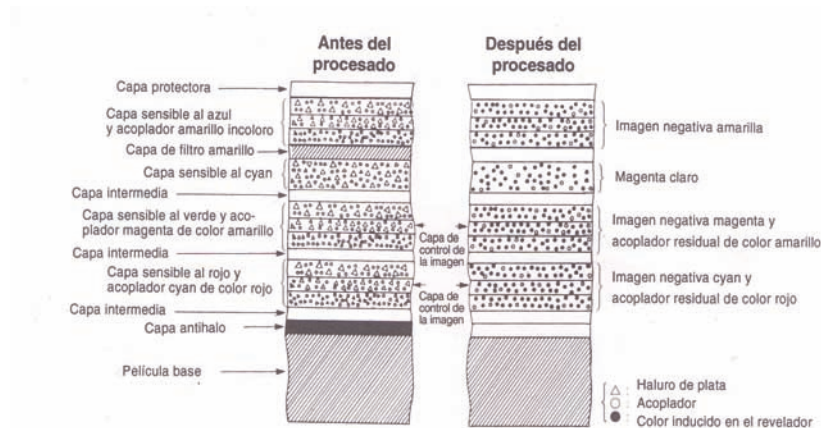


Ilustración 55. Proceso fotoquímico en película tradicional en color

Si la tinción se produce de manera proporcional a la densidad obtenida, se obtiene entonces un negativo en color, puesto que se tiñen las partes que han recibido más luz; si se realiza de manera inversamente proporcional, entonces se obtiene un positivo directo. Esto es así porque en cualquiera de los dos casos la luz, deseablemente blanca para un correcto visionado de la escena fotografiada, tal como venimos insistiendo, atraviesa el emparedado tricapa y es absorbida en distintas proporciones en función de la tinción de cada una de ellas, dando como resultado la reproducción en color del motivo original según los principios del método sustractivo, tal como podemos ver en el ejemplo.

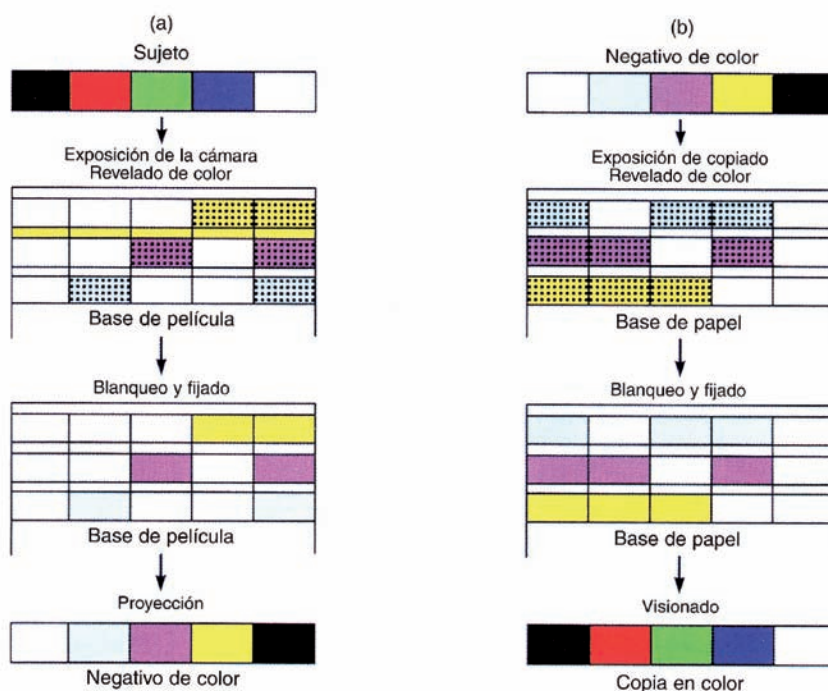


Ilustración 56. Negativo y copia en color

Los papeles de copia en color se siguen utilizando y, aunque ya más en desuso, dada la pujanza de la fotografía digital y de nuevos soportes de copia cromógena más productivos y menos costosos económicamente, durante muchos años se utilizó en fotografía también un método de reproducción del color denominado *de destrucción de tintes*, comercialmente conocido como *Cibachrome* entre algunas otras diversas denominaciones, que funciona tal como vemos en el siguiente gráfico y en el que se aprecia bien cómo el visionado es el resultado de la sustracción o absorción de cada tinte a la luz blanca.

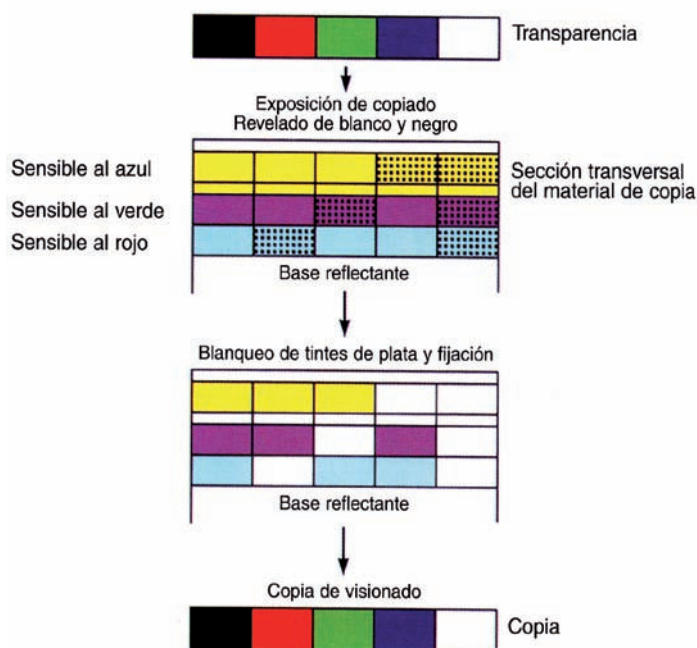


Ilustración 57. Proceso de color *Cibachrome*

Para finalizar, conviene insistir, en todo caso, en que el problema inherente a cualquiera de los sistemas de reproducción del color, al igual que señalábamos para los de blanco y negro, estén fundamentados en procesos fotoquímicos tradicionales o en sofisticados sistemas digitales como los existentes en la actualidad, es que los resultados que se obtienen en cuanto a la calidad del color, contraste, nitidez, etc., dependen estrechamente de las características de los materiales y, por ello, se torna especialmente difícil determinar cuál es la mejor reproducción, puesto que las variaciones entre las distintas emulsiones y sistemas de registro y reproducción son inevitables. Tal diversidad de materiales genera no pocos problemas en la industria fotográfica, y de artes gráficas en general, en la que es necesaria la adecuada reproductibilidad a lo largo de todo el proceso industrial y, por ello son necesarios los sistemas de gestión de color, pues estos utilizan perfiles normalizados con características específicas que permiten equilibrar las diferencias entre los distintos dispositivos de captación, tratamiento y reproducción, manteniendo así la estabilidad de los resultados a lo largo de todo el proceso, algo absolutamente imprescindible para disponer de un adecuado sistema de control de calidad.

2.2.4. Procesado y ampliación de la imagen fotográfica b/n y color

Los procesos fotoquímicos clásicos para la obtención y reproducción de imágenes necesitan de un espacio de trabajo adecuado para el revelado y manipulación de los materiales sensibles y la obtención de copias, el llamado *laboratorio fotográfico*, haciendo referencia explícita a la naturaleza química de los procesos que se van a llevar a cabo en él.

En la fotografía clásica, al llegar al laboratorio se dispone de una imagen latente registrada sobre una emulsión fotográfica que se dará como resultado después de todo el proceso, siguiendo el método tradicional, una copia en papel. Para ello, se ha de revelar esa imagen latente sumergiendo la imagen latente en un agente revelador que amplifique su densidad hasta hacerla visible, y tal operación se ha de realizar controlando tanto el tiempo como la temperatura a lo largo de todo el proceso. Los resultados obtenidos dependerán del tipo de agente revelador que se utilice, además de las características intrínsecas de la emulsión sobre la que hayamos registrado la imagen.

De igual manera ocurre en el siguiente proceso a realizar después del revelado del negativo, la *ampliación* de la imagen sobre el papel, pues los resultados pueden ser muy variables en función de los materiales, los agentes químicos utilizados, y los tiempos y la temperatura de procesado, y de ahí que las imágenes fotográficas obtenidas utilizando el sistema de revelado fotoquímico sean tan únicas, ya que cualquier mínima variación en el proceso de obtención de cada copia del original la hace diferente al resto. Como contrapartida, se encuentren grandes dificultades para hacer reproducible todo el proceso con fiabilidad, dados los distintos parámetros que hay que controlar a lo largo del mismo y, por tanto, la aplicación industrial del sistema ha resultado siempre más compleja.

Después del revelado, tanto de la película como del papel, es necesario una adecuada fijación de la imagen para evitar su degradación en el tiempo, en el proceso que se conoce precisamente como *fijado*, en el que se eliminan todos los residuos para sólo dejar en la emulsión la plata oxidada, que, al ser inorgánica, es muy estable a lo largo del tiempo, siempre que se mantenga unas mínimas condiciones para su adecuada conservación.

A continuación, se puede ver el esquema de los pasos a seguir durante el proceso de revelado de emulsiones en blanco y negro y los resultados que se obtienen en negativo y positivo de la imagen captada.

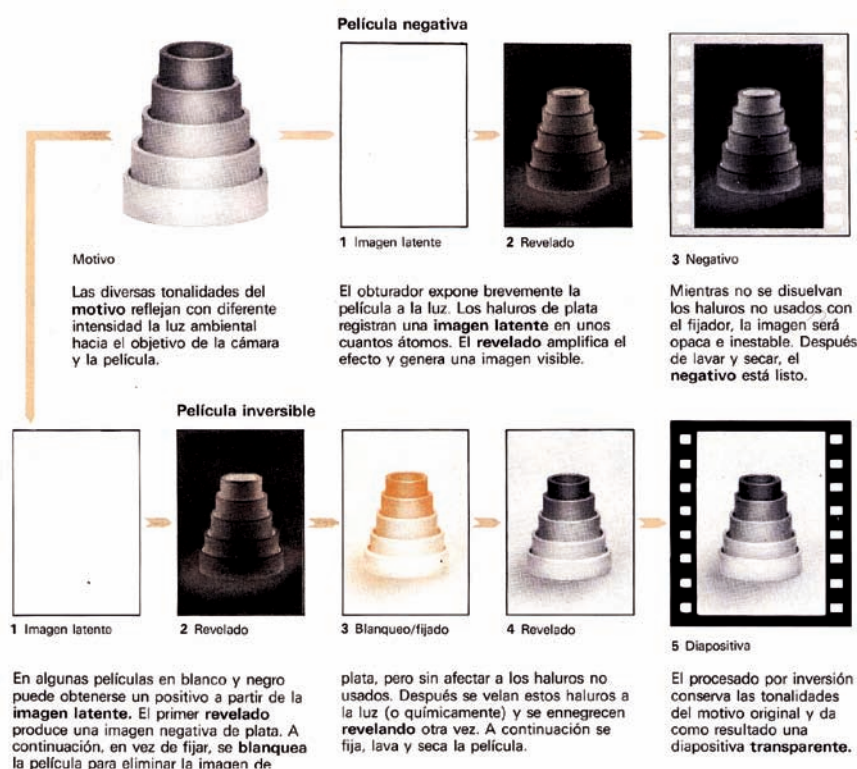


Ilustración 58. Revelado negativo y diapositiva b/n (M. Langford)

El proceso fotoquímico tradicional de revelado en color, por su parte, es una extensión del desarrollado para blanco y negro, con la particularidad de que a la emulsión de cada una de las capas superpuestas componentes del color se añaden tintes en función de la exposición recibida y, según la teoría sustractiva de formación de imágenes en color ya estudiada, se consigue obtener una imagen en color por la sustracción sucesiva a la luz blanca de las longitudes de onda que absorben los filtros correspondientes a los distintos colores complementarios, tal como podemos ver a continuación.

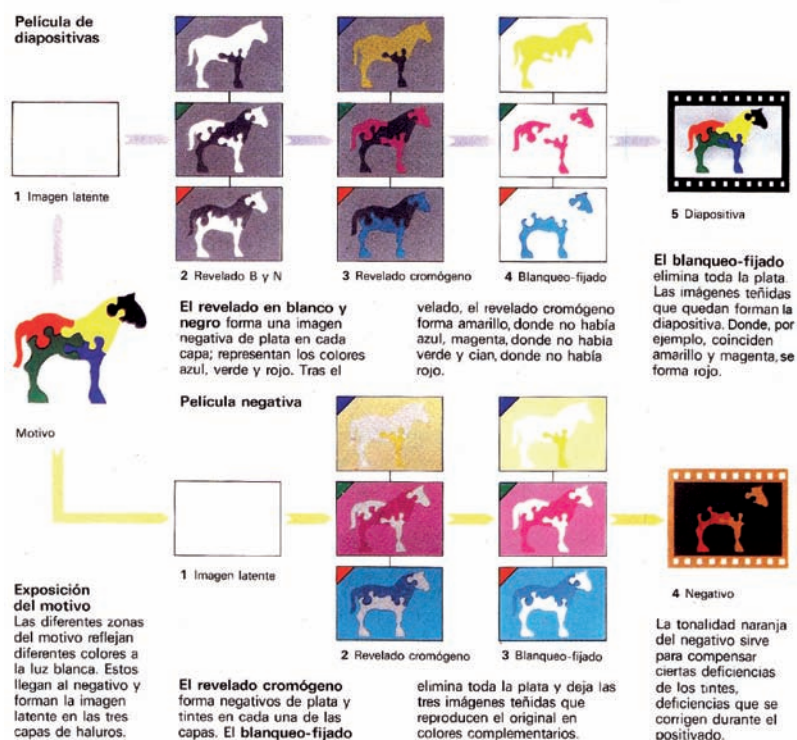


Ilustración 59. Revelado negativo y diapositiva color (M. Langford)

La ampliación de la imagen registrada sobre papel u otros soportes recubiertos con emulsiones de plata se realiza en el laboratorio utilizando sistemas ópticos de proyección denominados *ampliadoras*, cuyo diseño podemos ver en el siguiente gráfico.

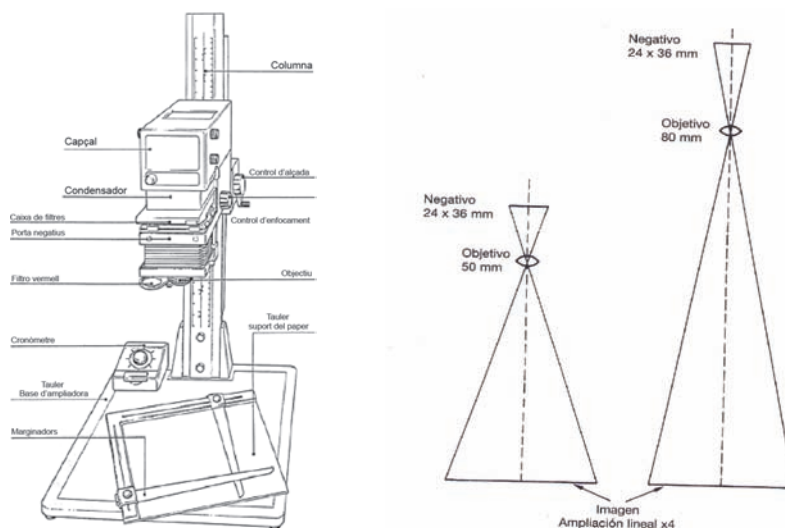


Ilustración 60. Esquema del funcionamiento óptico de la ampliadora (R. Jacobson)

Los resultados se pueden manipular durante el proceso utilizando filtros y reveladores químicos que varíen el grano de la imagen, el contraste, la definición, el equilibrio de color, etc., o diferentes tipos de papel para obtener copias de características determinadas, diversas texturas, reflectancias, color, etc. También se puede variar el resultado realizando manipulaciones químicas o manuales de la imagen como, por ejemplo, tinciones químicas de la imagen con diversos colores y materiales, como los llamados *virados*; buscar los efectos resultantes de una exposición extrema, como la posterización o solarización de la imagen; o efectuar interposiciones parciales de la luz durante la ampliación realizando tapados y otras correcciones durante la exposición de determinadas partes de la imagen; se pueden emparedar varias películas y formar imágenes compuestas; utilizar químicos abrasivos para buscar efectos expresivos de degradación sobre el papel o, en otras muchas manipulaciones, colorear directamente a mano las imágenes buscando efectos pictóricos determinados.

Sin embargo, a pesar del gran desarrollo y perfección técnica que han alcanzado estos procesos tradicionales, la pujanza y popularización de la fotografía entre la población y la necesidad de hacer más accesibles todos los procesos y aumentar la productividad industrial, ha llevado a la obsolescencia de las tecnologías fotoquímicas durante las dos última décadas en favor de las nuevas tecnologías digitales, aunque no es infrecuente encontrar todavía pequeños laboratorios automatizados, los llamados *minilab*, que hasta hace bien poco eran el centro neurálgico de las numerosas tiendas de revelado fotográfico existentes por doquier, si bien ahora el proceso de realización de copias, se realiza directamente desde el lugar de la casa donde está el ordenador y en forma de impresoras de uso doméstico individual, con otras tecnologías más accesibles al gran público que las clásicas minilab, aun siendo sencillas, como vemos.

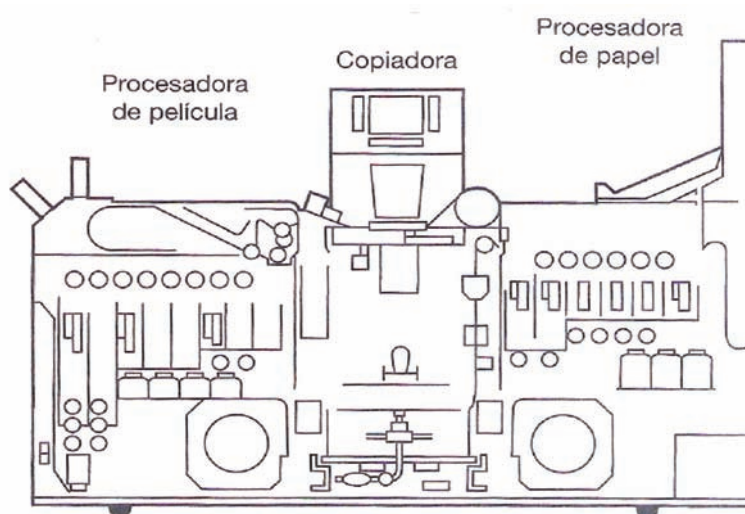


Ilustración 61. Esquema del funcionamiento de un *minilab*

Los nuevos minilabs que actualmente encontramos en las tiendas fotográficas combinan tecnologías híbridas, digitales y fotoquímicas, de manera que podemos con facilidad, por ejemplo, descargar una fotografía digital de nuestro móvil y obtener una copia en papel clásica y, como valor añadido, un cd con el conjunto de fotos sobreimpreso con las imágenes. Hoy día, las tecnologías de reproducción se han diversificado enormemente, algunas de las cuales estudiaremos en epígrafes sucesivos, existen múltiples posibilidades de obtención de imágenes en diversos soportes, tal como podemos ver en el siguiente gráfico, y las posibilidades de reproducción son muy variadas en función del uso que vayamos a hacer de la imagen.

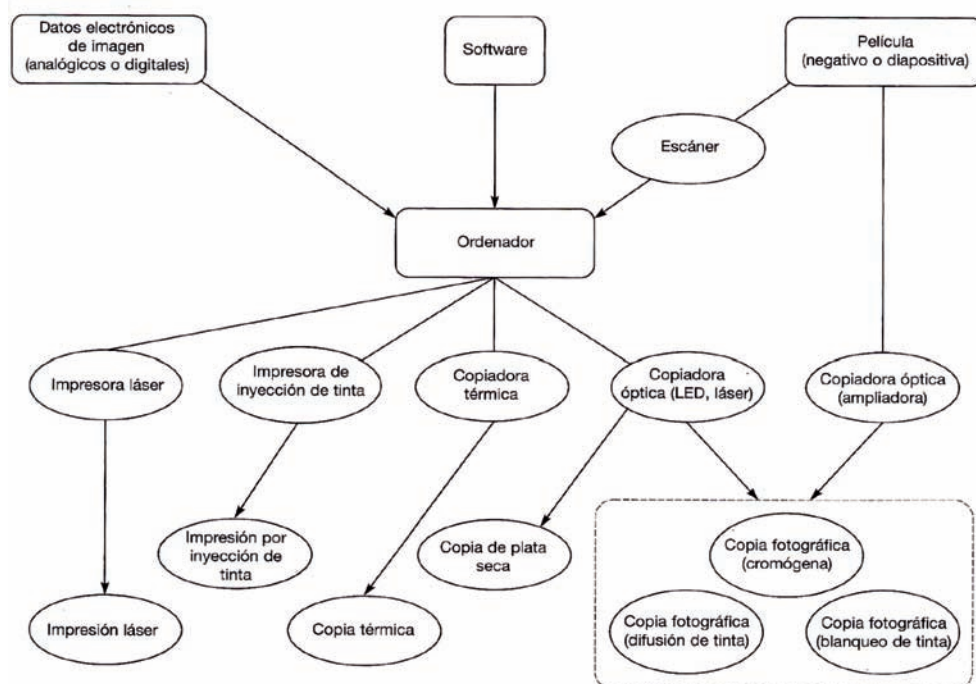


Ilustración 62. Alternativas de copiado (R. Jacobson)

Como veremos con detalle a continuación, todo el sistema se ha digitalizado desde el principio al final para facilitar el proceso de obtención y distribución de imágenes hasta límites inimaginables hace sólo una década. La antesala de la transición de la fotografía analógica a la digital comenzó con la introducción comercial y desarrollo de los escáneres fotográficos, cuya estructura podemos ver en el siguiente esquema.

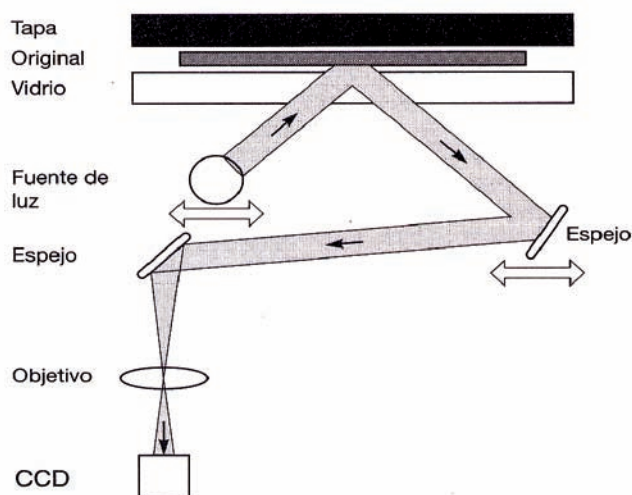


Ilustración 63. Esquema del funcionamiento de un escáner

El escáner es un sistema de captura basado en un sensor lineal que se desplaza a lo largo de toda la superficie a explorar registrando por reflexión (aunque también los hay de transmisión) las diferentes luminosidades y dando como resultado una imagen digital que, integrada en un sistema de fotografía digital, permitirá su manipulación de manera muy efectiva y productiva.

2.3. LA FOTOGRAFÍA DIGITAL

Los intentos de desarrollo de tecnologías de captación de imágenes que no utilizaran las propiedades fotosensibles de los haluros de plata se remontan a las últimas décadas del siglo XIX, momento en el que se comenzaron a experimentar sistemas para registrar imágenes mediante electricidad, como continuación de los sistemas de codificación de información que se habían desarrollado desde la invención, en 1840, del telégrafo eléctrico de Morse.

En 1873 los estadounidenses May y Smith descubrieron las propiedades del selenio para producir electricidad de manera proporcional a la intensidad de la luz a que se exponía y, poco después, Carey, en 1875, ideó un sistema matricial de dos placas de células de selenio unidas por hilos conductores que permitía transmitir de una placa a otra la imagen resultante de las variaciones de intensidad luminosa convertidas en diferencias de tensión eléctrica. Estos nuevos descubrimientos, complementados con los avances en telecomunicaciones culminados con la invención del teléfono por Graham Bell en 1876, pronto iniciaron un interés creciente por la sinergia entre tecnologías eléctricas de obtención de imágenes y las telecomunicaciones, impulsando el desarrollo de tecnologías para la transmisión de imágenes a distancia.

Aquella matriz de células de selenio no era más que el antecesor de los sensores de las cámaras fotográficas y videográficas digitales actuales, de los sensores de imagen que estudiaremos en el siguiente epígrafe. Las primeras mejoras al sistema vinieron de la mano de Constantin Senlecq, quien descubrió, en 1878, que era posible realizar el análisis secuencial de los puntos de imagen de la matriz mediante barrido, es decir, utilizando un solo cable para transmitir de manera sucesiva y ordenada toda la información registrada, de manera secuencial, y evitando así tener que conectar con un cable cada una de las células de la matriz con la correspondiente en la otra para transportar la electricidad, lo cual hacía poco operativo el sistema de transmisión al tener que hacerse en paralelo, es decir, descargarse de manera simultánea toda la información, lo cual añadía un complejidad enorme a la conexión entre ambas matrices. Otros inventores siguieron la senda tecnológica iniciada por estos pioneros, entre los más importantes Edouard Belin, quien inventó el *belinógrafo*, un sistema telegráfico de transmisión de fotografías mediante redes de comunicaciones por cable y telefónicas codificadas eléctricamente que se ha utilizado hasta los primeros años 70.

Sin embargo, el avance de los sistemas de fotografía no se hacía desde la vanguardia tecnológica que suponían los nuevos sistemas de captación de imágenes mediante tecnologías eléctricas y, desde los inicios, la imagen electrónica se desarrolló, sobre todo, para hacer posible la televisión, es decir, la emisión de imágenes en movimiento, mientras que la fotografía, tanto como la cinematografía, continuaba experimentando y perfeccionando las tecnologías y equipamientos fundamentados en las propiedades fotosensibles de los compuestos de plata, con excelentes resultados. Sólo a partir de los años 60, con el desarrollo de la electrónica y los sistemas de captación basados en matrices de estado sólido, empezó a emerger de nuevo el interés por trasladar los avances obtenidos en tecnología electrónica a la fotografía, desarrollando los sistemas de fotografía digital que tenemos en la actualidad.

En 1960, Horton presentó el primer sensor moderno en forma de una fina barra en cuya superficie había una serie de fotodiodos alineados que almacenaban electricidad en función de la luz recibida y, poco después, en 1970, Staiger, de la empresa Philips, demostró que era posible transferir la carga eléctrica almacenada en un dispositivo MOS (Metal-Oxid Semiconductor), es decir, en una matriz fotosensible de fotodiodos o de condensadores, a otro MOS adyacente mediante conmutadores que permitían mover las cargas de uno a otro. En 1970, Boyle y Smith, de Bell Telephone, utilizaron el mismo concepto, pero realizando la transmisión sin conmutación, simplemente polarizando las zonas para que la diferencia de potencial permitiera el movimiento de cargas, y denominaron a este dispositivo CCD, Couple Charge Device, es decir, dispositivo

de cargas acopladas. En 1971, Sony presentó el primer ccd comercializable, de 64 x 64 píxeles, iniciando la carrera industrial por los sistemas de captación basados en elementos de estado sólido, fundamentalmente conformados por elementos como el germanio y el selenio, cuyas propiedades semiconductoras resultaban adecuadas para la captación y conversión fotoelectrónica. Se empezaron a desarrollar sistemas ccd y cmos para cámaras de televisión en blanco y negro que ampliaban su resolución de manera progresiva, y pronto se empezaron a implantar las cámaras tricc en color, con patentes que provenían de empresas como Sony o Hitachi, de manera simultánea al desarrollo de prototipos de sistemas fotográficos basados en sensores de estado sólido y de nuevos sistemas de grabación magnética que sustituían a la tradicional película de haluros de plata.

El primero de estos prototipos de cámara fotográfica digital fue lanzado por Sony en 1981, la Mavica (Magnetic Video Camera), la primera cámara con un sensor de imagen ccd de 2/3 de pulgada y 570 x 480 píxeles, que grababa sobre un disquete magnético imágenes fijas de televisión con una cadencia por segundo de 25 *frames*, imágenes enteras, o 50 campos, con las líneas primero impares y luego pares, y tenía construcción réflex con tres objetivos intercambiables. Canon, Fuji y Panasonic lanzaron algunos modelos similares, aunque sin demasiado éxito comercial, y no fue hasta 1989, cuando Canon lanzó la Ion RC-251, que el sistema de captura digital y grabación magnética se popularizó con contundencia. Al modelo de Canon le siguieron otros de Fuji y Konica que utilizaban tarjetas PCMCIA para la grabación de los datos, y nuevas cámaras de Kodak que utilizaban estas tecnologías, comenzando así la carrera imparable por el aumento de la resolución y las prestaciones en cada uno de los modelos sucesivos de cámaras digitales, tal como ocurre en nuestros días.

2.3.1. Exploración de la imagen. Sensores ccd y cmos

Tal como venimos relatando, los actuales sistemas de captación de imágenes fotográficas están basados en elementos de estado sólido que se agrupan en forma de matrices bidimensionales sensibles a la luz que convierten la energía luminosa recibida en energía eléctrica, generando una corriente de electrones proporcional a la intensidad luminosa recibida.

El sensor puede ser lineal, como en los escáneres convencionales (a), o matricial, en este caso con filtros superpuestos para realizar la separación del color RGB (b), a no ser que, en cámaras 3ccd se realice esta separación por medios ópticos utilizando un sensor específico para cada color RGB (c), tal como podemos observar.

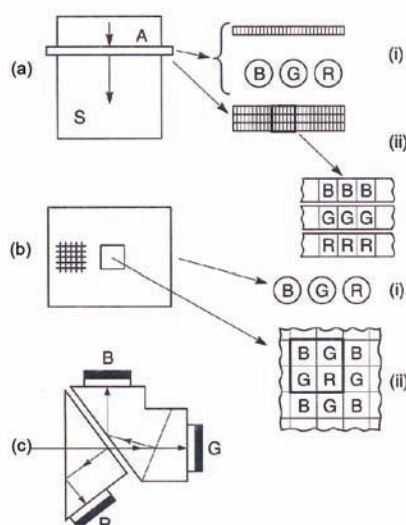


Ilustración 64. Captura de imagen en color con células fotosensibles (R. Jacobson)

Para hacer posible esta conversión fotoeléctrica, la matriz fotosensible está compuesta por una gran cantidad de sensores elementales, llamados píxeles o puntos de imagen, de tipo MOS (Metal-Oxid Semiconductor), un componente constituido por un sustrato de silicio dopado positivamente, y que por tanto forma un hueco, llamado *pozo de potencial*, con capacidad para almacenar fotones, que tienen carga negativa, recubierto por una fina capa aislante de dióxido de silicio sobre la que se encuentra un electrodo, o rejilla de polarización, al que se puede inducir una carga positiva.

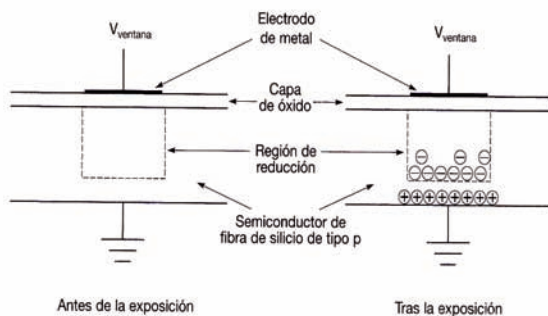


Ilustración 65. Funcionamiento condensador MOS

Cuando esto ocurre, el pozo de potencial, al tener la misma carga positiva se hace tan profundo como la intensidad de la tensión de polarización y, en cualquier caso, ante cualquier tensión inducida, mientras dure la polarización, se produce un hueco capaz de recibir fotones. El lapso de tiempo durante el que se produce esta situación se denomina *tiempo de integración*, y es equivalente al tiempo de exposición, es decir, el tiempo de polarización inducida a las células MOS que componen la matriz fotosensible es el mecanismo básico para realizar la velocidad de obturación, y hace las veces de un obturador electrónico.

Una vez almacenados esos electrones en el pozo de potencial, la siguiente fase del proceso consiste en extraer y transferir esa carga de cada uno de los millones de píxeles hacia la salida para crear una corriente eléctrica continua proporcional a cada una de las cargas individuales. Para realizar esta operación se utilizan otras células MOS a las que se induce una diferencia de potencial respecto a las receptoras de fotones para ir moviendo las cargas de manera ordenada hacia el registro de salida. El conjunto recibe el nombre de CCD (Coupled Charged Device, dispositivo de cargas acopladas), y se distinguen tanto por su construcción como por la forma en que realizan la descarga.

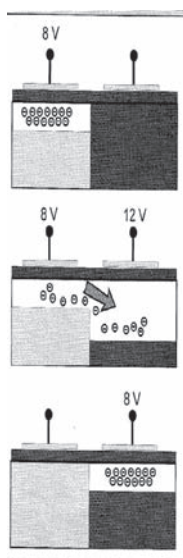


Ilustración 66. Transporte de cargas en CCD

Podemos distinguir, así, entre **ccd ff**, de imagen entera o Full Frame, en el que sólo hay una línea de transferencia **mos** en la que se van descargando las columnas de manera secuencial, y **ccd it**, o de transferencia interlinea, y **ccd ft**, de transferencia de campo, en los cuales se utiliza otro conjunto de **mos** oculto a la luz por una capa aislante intercalado entre líneas o como registro paralelo, que agilizan los procesos de transferencia, tal como podemos ver en el gráfico.

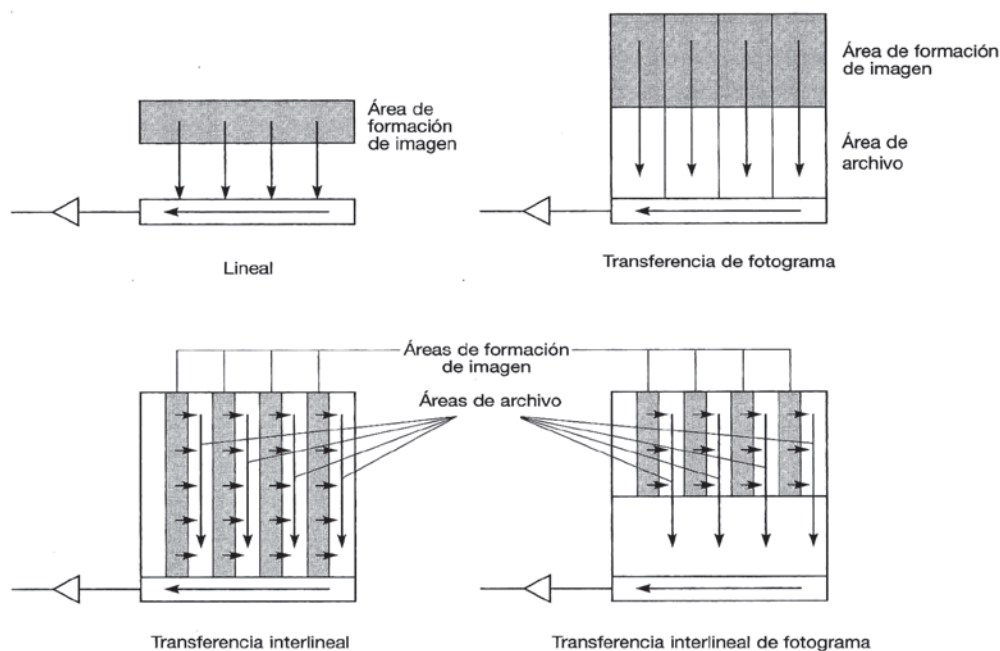


Ilustración 67. Tipos de ccd

En todos los **ccd** se ha de tener en cuenta, entonces, que hay una diferencia entre el número de píxeles que tienen integrados y los píxeles efectivos que se utilizan para la captura, además de que en cada píxel individual no toda su superficie es receptora de energía luminosa y siempre hay cierta proporción que es ciega y está reservada a otras funciones; la relación entre superficie útil y superficie real se denomina *relación de apertura*, y siempre es menor al 100%. También es muy importante conocer las limitaciones en cuanto al rendimiento espectral del sensor, ya que el sustrato de silicio dopado no deja penetrar por igual todas las longitudes de onda, y las más cortas, a pesar de portar más energía, pueden ser fácilmente absorbidas antes de alcanzar el hueco o capacidad, es decir, los sensores suelen ser mucho menos sensibles a los azules y, en cualquier caso, los verdes y los rojos, dada su distinta longitud de onda, son capaces de penetrar a distintas profundidades en el sensor, extremo que puede provocar problemas de diseño o que, tal como explicamos más adelante, es muy bien aprovechado por un tipo de sensor llamado **FOVEON**.

Otro de los problemas importantes de los **ccd** es su limitada capacidad para almacenar energía fotoeléctrica, y para evitar efectos adversos sobre la imagen disponen de mecanismos para combatir el llamado *smear* o *desbordamiento*, es decir, el rebosamiento del pozo de potencial de electrones sobrantes cuando la iluminación es más intensa de lo aceptable, evitando que puedan contaminar las células adyacentes y se produzcan efectos indeseados sobre la imagen.

A partir de células **mos** se están creando otro tipo de sensores integrados, además de los **ccd**, que se están implantando con fuerza, mediante la tecnología **cmos** (Complementary Metal-Oxid Semiconductor), cuyos procesos de fotoconversión son idénticos a los **ccd** descritos. No obstante,

a diferencia de estos, en los CMOS los movimientos de cargas no se realizan transfiriéndolas de manera secuencial al registro de salida, sino que cada una de las células de almacenamiento dispone de un transistor que detecta y amplifica la carga eléctrica, permitiendo el acceso aleatorio *xy* a cada uno de los píxeles, como si se tratara de una memoria RAM, permitiendo seleccionar píxeles, o ventanas de interés correspondientes a grupos de píxeles, de manera que el acceso y la captura de los datos son más efectivos. Con ello se puede, por ejemplo, infra-muestrear la imagen no utilizando todos los píxeles disponibles, o amplificar algunas partes de ellas, y también se puede utilizar, por ejemplo, para corregir el balance de color o aumentar la sensibilidad global bajo condiciones de iluminación insuficiente. Actualmente, los sensores CMOS se están imponiendo con fuerza frente a los CCD porque presentan ventajas muy importantes, entre ellas que se pueden integrar en menor espacio mayor número de funciones (como el convertidor analógico/digital, control de exposición automática, balance de blancos y auto-foco), haciendo las cámaras mucho más compactas; que consumen hasta un 30% menos de energía; y que su forma de construcción permite utilizar las cadenas de producción estándar de circuitos integrados ya muy implantados en el mercado, con lo que se reduce drásticamente su precio.

A pesar de la feroz competencia entre tecnologías y la imposibilidad de conocer qué desarrollos acabará imponiendo la industria, la tendencia actual es utilizar sensores CMOS de dimensiones cada vez mayores y, preferiblemente, con el formato estándar de la película de haluros de plata tradicional, 24 mm x 36 mm. En algunos sensores actuales, se intenta mayor aprovechamiento luminoso integrando microlentes individuales o diseñando las células fotosensibles con formas ortogonales o de otro tipo, y algunas otras técnicas en fase de investigación que permitan mejoras sustanciales en los sistemas de captura, y que, posiblemente, veremos implantadas en los equipos profesionales en pocos años.

2.3.1.1. Registro del color

Tal como venimos relatando, cuando los sensores se integran en las cámaras fotográficas digitales se utilizan estrategias de filtrado tricromático o sistemas de varios sensores para poder realizar fotografías en color, pues, si no fuera así, una matriz de células fotosensibles por sí misma sólo nos daría diferencias de intensidad eléctrica en función de las diferencias de luminosidad de la escena, es decir, como si se tratara de una emulsión en blanco y negro, con la que se obtienen diferencias de densidad proporcionales a las diferencias de luminosidad. De manera similar a como se registra el color en los sistemas fotoquímicos basados en las características de la plata, en la fotografía digital se utilizan estrategias basadas en los ya descritos métodos aditivos o sustractivos para la formación de color, aunque con algunas particularidades destinadas a la adecuación del registro del color a las características psicofísicas de nuestra percepción, facilitando operaciones de equilibrio de color que resultaban más complejas de realizar en las emulsiones de tintes tradicionales y que en fotografía digital se realizan con mucha precisión e inmediatez.

Se ha demostrado experimentalmente la adaptación cromática que hacemos al blanco y se ha investigado la diferente sensibilidad del ojo a la luminosidad y al color, también distinta para cada uno de los colores primarios. La sensibilidad que tiene nuestra retina para el rojo es dos veces inferior a la del verde, y para las longitudes de onda correspondientes al azul el ojo es cinco veces menos sensible que para las que corresponden al verde. Es decir, si damos 1 al valor de verde, la sensibilidad al rojo sería de la mitad, 0,5, y al azul, la quinta parte, 0,2. Como además sabemos que la conjunción de los tres colores primarios forma el blanco, de valor 1,7 sumándolos, podemos regularizar estas cifras dando 1 al valor de blanco y de manera

proporcional, consecuentemente, 0,30 al rojo, 0,59 al verde y 0,11 al azul. Con ello tenemos que el blanco, llamado *luminancia* (γ), es la suma de los tres coeficientes del color, o *chrominancia* (c), es decir, $\gamma=0,39R+0,59v+0,11A$, con lo cual para el registro de cualquier color necesitamos sólo tres componentes de colores primarios $R+G+B$ en esas proporciones, o bien la luminancia total y dos señales diferencia de color, $\gamma+(A-\gamma)+(R-\gamma)$. De este modo tenemos dos sistemas de creación de color, RGB o γ/c , dependiendo de que se utilicen como colores componentes los tres primarios o la luminosidad y dos señales diferencia de color.

Cualquiera de los dos sistemas se utiliza para el registro fotográfico del color, y también para el videográfico, haciendo uso de dos estrategias de separación del color básicas durante la captura. La primera de ellas, superponiendo al sensor un filtro mosaico RGB , o con los colores complementarios $CMYK$, es indiferente, de manera que, posteriormente, y mediante métodos de interpolación se reconstruya el color de cada pixel individual, eso sí, a costa de reducir la resolución efectiva a $1/3$ del número de células físicas integradas en el sensor. La segunda de las estrategias consiste en la utilización de 3 matrices de sensores, dirigiendo a cada una de ellas, mediante filtrado, uno de los colores primarios para registrarlos por separado y, posteriormente, recombinarlos en circuitos electrónicos al efecto, tal como ya vimos con anterioridad.

La tercera y más novedosa de las estrategias de registro del color emula a los tradicionales soportes fotoquímicos basados en películas tricapa y se ha implantado en un chip $CMOS$ conocido comercialmente como $FX3$, de la empresa $FOVEON$, integrado en las cámaras Sigma SD-9 y en constante desarrollo en la actualidad. Para su funcionamiento aprovecha la distinta profundidad de penetración que cada una de las longitudes de onda de los colores primarios puede alcanzar en el sustrato de silicio dopado del sensor MOS y, así, está estructurado como un sistema aceptor de tres capas en las que cada una de ellas se destina al registro de un color primario: el azul, en la capa más superficial, y el verde y rojo en las sucesivas. De esta manera se seleccionan en un mismo chip los tres colores y el filtro mosaico desaparece, con el consiguiente aumento de la resolución, y, también, introduciendo mejoras en cuanto a la mayor facilidad de integración que el nuevo sistema supone respecto a los equipos de tres CCD .

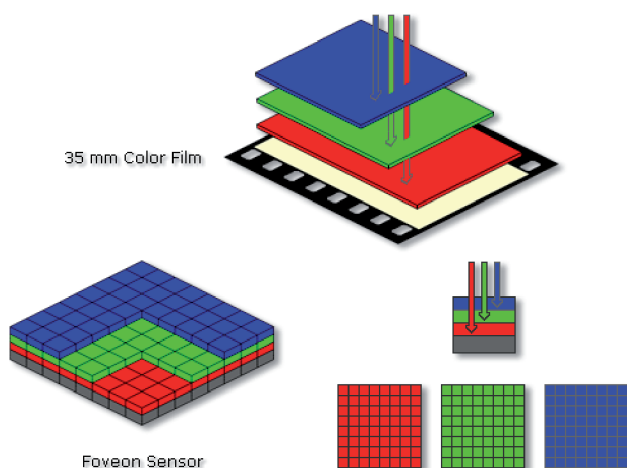


Ilustración 68. Sensor FOVEON

2.3.1.2. Resolución y formato de la imagen. Caracterización de los sensores

Por lo general, los sensores de las cámaras fotográficas mantienen una relación de aspecto 4:3, debido a que los primeros que se comercializaron se fabricaron para sistemas videográficos destinados al registro de imágenes para televisión, aunque cada vez se impone más el formato 3:2 del estándar fotográfico 24 mm x 36 mm. Algunos modelos permiten ambos formatos simplemente inhibiendo parte de las filas de píxeles de los sensores de la matriz de captación. En cuanto a tamaños y resoluciones existen multitud de opciones que complican sobremanera el mercado de cámaras fotográficas, más aún cuando a veces se disfrazan las características de los sensores con marcas comerciales que los hacen indefinibles.

Para caracterizar los sensores debemos fijarnos, en primer lugar, en el tipo de sensor que es en cuanto a la forma en que realiza los movimientos de cargas y, luego, en los siguientes aspectos:

- Dimensiones de la zona de imagen y resolución horizontal y vertical en píxeles: ambas interrelacionadas en función del tamaño del píxel, del orden de milimicras, que puede variar, permitiendo integrar un mayor número en matrices más pequeñas y, por extensión, aumentando la resolución global, aun siendo un sensor de menor tamaño.
- Resolución global: el número total de píxeles que contiene la matriz, resultado de multiplicar las columnas por las filas, se cuantifica en millones de píxeles actualmente, aunque por asimilación de la terminología informática se habla de *megas*, que equivale cada uno a un millón de píxeles. Se ha de tener cuidado con la confusión que se produce en cuanto a la ocupación de espacio de almacenamiento en *megabites*, valor relacionado con la resolución, pero dependiente de otros aspectos como la compresión y el tipo de archivo.
- Resolución óptica: medida en ciclos por milímetros, es decir, en número de pares de píxeles por milímetro que tiene la matriz, lo cual será determinante a la hora de realizar una ampliación de la copia con una definición aceptable. Es decir, si hubiéramos de hacer una copia de idéntico tamaño capturada con dos sensores de diferente resolución óptica, además de permitir integrar mayor o menor número de células en la misma superficie y variar así la resolución global, *grosso modo*, el diferente tamaño de píxel de cada sensor podría hacer que en una de las copias la definición y el detalle fueran correctos y en la otra notásemos cierta pixelización, es decir, pérdida de detalle por evidencia de los píxeles, al ser de gran tamaño.

A continuación, podemos ver un cuadro comparativo de diferentes sensores:

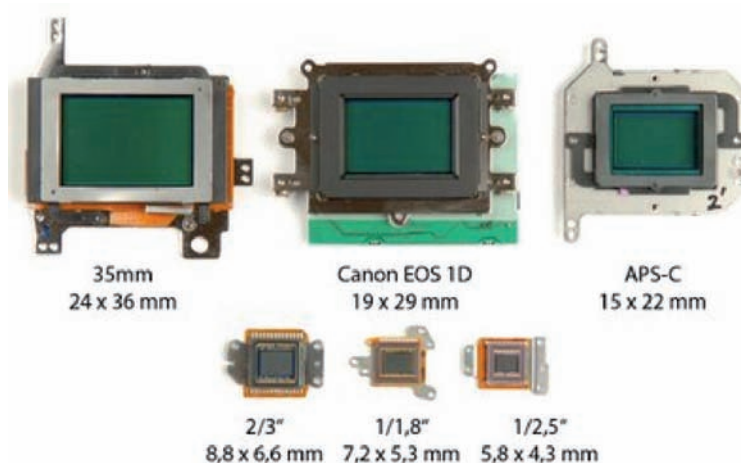


Ilustración 69. Varios tipos de sensores (R. Bouillot)

Con una cámara de 6 megapíxeles, sería suficiente para una imagen ampliada de 300 mm, aunque para determinar la definición de la copia debemos tener en cuenta criterios tales como:

- En primer lugar, hemos de tener en cuenta el poder separador del ojo, que se ha demostrado que tiene una agudeza visual de aproximadamente 0,3 mrad, o sea, 1 minuto de arco. Es decir, el ojo distingue a una distancia mínima de visión nítida de 25 cm (por debajo de esta no se puede enfocar) un par de líneas, una blanca y otra negra de 0,15 mm, lo cual corresponde a una definición de 6,6 pl/mm (pares de líneas por milímetro), en pulgadas $6,6 \times 25,4 = 169,3$ lpi (líneas por pulgada). Esto quiere decir que de nada serviría, en condiciones normales de observación, tener copias con una resolución en lpi mayor, puesto que el ojo no puede discriminar el detalle por encima de esa cifra.
- En segundo lugar, la definición depende de la distancia de observación, de manera que si, por ejemplo, un motivo tiene una resolución óptica de 75 lpi, es decir, los motivos más finos están separados $25,4/75 = 0,34$ mm y dejamos de ver los píxeles cuando el ángulo de visión es de 0,3 mrad, entonces $0,34/0,3 = 1,13$ m sería la distancia óptima de observación. Si la resolución óptica fuera el doble, 150 lpi, podríamos observar a $25,4/150 = 0,16$ mm y $0,16/0,3 = 0,53$ m, de distancia sin percibir la pixelización. A medida que la resolución fuese más baja, tendríamos que observarla desde más lejos para verla con definición aceptable.

Otro aspecto en el que las dimensiones del sensor y su resolución efectiva es de vital importancia es el cálculo de los ángulos de apertura en función de las distancias focales de los objetivos. Cuando utilizamos un sensor de tamaño estándar 24 x 36, la gama de objetivos concebidos para las cámaras réflex tradicionales se pueden utilizar sin dificultad obteniendo los resultados esperados, pero cuando el tamaño del sensor es menor, como suele ocurrir en la mayoría de las cámaras domésticas y semiprofesionales, no se dispone de ningún objetivo con una longitud focal lo suficientemente corta para que se puedan registrar grandes angulares. Si se observa el siguiente gráfico, se puede imaginar fácilmente que el ángulo de campo disminuirá si se disminuye el tamaño del sensor, sea éste del tipo que sea, una película clásica en el ejemplo.

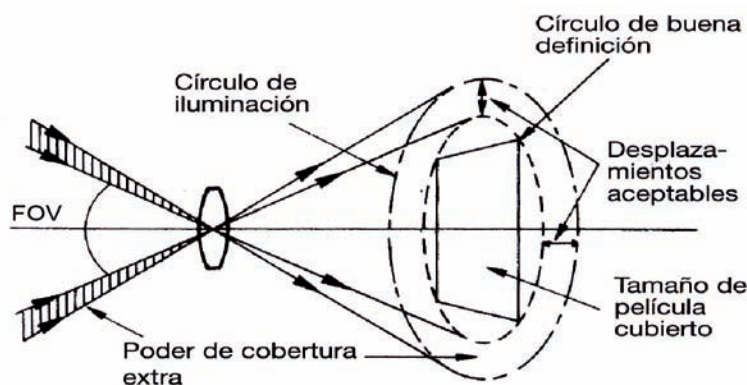


Ilustración 70. Cobertura de la lente en soporte sensible (R. Jacobson)

Dada la multiplicidad de tamaños de sensores que hay en el mercado y las diferentes longitudes focales de los objetivos que se montan en las cámaras, la única manera de saber cuál es el rendimiento del objetivo en cuanto a apertura de campo es dirigirse a las instrucciones o, también, para el fotógrafo que proviene de la fotografía clásica, calcular las distancias focales equivalentes para poder así determinar con facilidad si el tipo de objetivo es más o menos angular, contando que el *normal* de 35 mm, 24 mm x 36 mm, tiene una distancia focal de 50 mm,

por debajo de la cual los objetivos se consideran angulares y por encima, teleobjetivos. Para dicho cálculo se toma la longitud del lado mayor del sensor y se divide el formato estándar por él, es decir, si el sensor mide 6 mm x 8 mm el cálculo sería $36/8 = 4,5$, con lo cual hallamos el factor de conversión y, de esta manera, por ejemplo, podemos calcular que el objetivo de 50 mm de distancia focal para ese sensor de 6 mm x 8 mm equivale a $50 \cdot 4,5 = 225$ mm de distancia focal en relación a la cámara clásica que monta película 24 x 36; para tener un objetivo angular en esta cámara digital este tendría que tener una longitud focal por debajo de 11 mm, aproximadamente, algo difícil de integrar en estos equipos a precios razonables.

En último extremo, conviene recordar que la calidad óptica del objetivo y su poder de resolución será determinante para proporcionar imágenes de nitidez y contraste óptimo y, junto con su distancia focal y rango de diafragmas permitido, o número f (calculado según la fórmula distancia focal/diámetro de la apertura del diafragma) determinará la apertura y profundidad de campo de que podemos disponer para el registro fotográfico. Normalmente, encontraremos estos datos inscritos en la mayoría de los objetivos al modo *distancia focal:mayor abertura permitida*, y, en algunas ocasiones en las hojas técnicas encontraremos tablas que indiquen su distancia focal equivalente.

Pero, como veremos a continuación, el registro de la imagen en fotografía digital todavía necesita de procesos que van más allá de la mera captura sobre un soporte fotosensible en función de las condiciones del mismo y del equipamiento óptico-mecánico para su captación, y que igualmente influyen mucho en la consecución de imágenes de calidad. En fotografía clásica la imagen latente se impresionaba sobre la película de haluros de plata y, con ella, sólo restaba meterse en el laboratorio para su procesamiento fotoquímico; en fotografía digital estos costosos procesos se omiten pero, igualmente, necesitamos sistemas de almacenamiento y registro duraderos porque la imagen captada por los sensores, hasta donde hemos explicado hasta ahora, sólo es un conjunto de tensiones eléctricas correspondientes a diferencias de luminosidad, ni siquiera hasta este momento podemos hablar de fotografía digital puesto que las diferencias de luminosidad registradas son análogas a las de la escena, tanto como las diferencias de densidad registradas en los soportes fotográficos basados en procesos fotoquímicos.

2.3.2. Digitalización de imágenes. Soportes de grabación y sistemas de archivo

El siguiente paso a realizar después de la captación y registro de imágenes fotográficas en los sistemas digitales, tal como vemos en el esquema, es la *digitalización*, que es el proceso que da nombre a toda la tecnología y la hace diferente de cualquier otra, pues a partir de esta fase del proceso ya no se trabajará con valores eléctricos análogos a la luminosidad recibida, sino que estos valores se convertirán a código numérico, es decir, a dígitos, que representarán el valor de las tensiones eléctricas obtenidas de manera inequívoca. Este proceso se conoce como *conversión analógico-digital* o, simplemente, *digitalización*, que, en el caso de nuestros actuales equipos de cálculo digital, está basada en el sistema binario, es decir, se reconstruye la información de la imagen a partir de la combinación de dos únicas cifras, el 0 y el 1. El proceso comprende tres fases sucesivas: muestreo, cuantificación y codificación, que vamos a ver con cierto detalle.

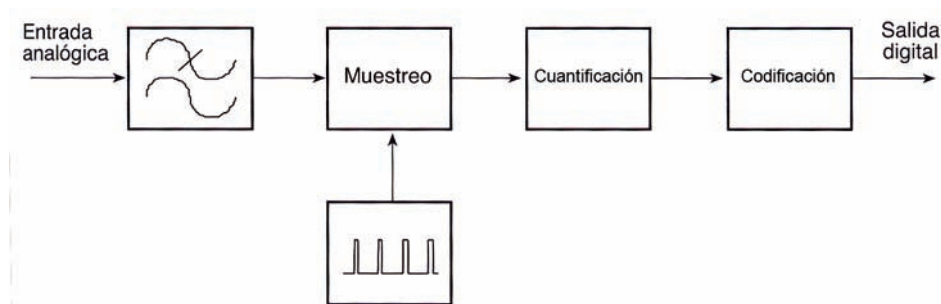


Ilustración 71. Proceso de digitalización

Durante la fase de muestreo, se analiza a impulsos regulares sucesivos la señal eléctrica obtenida como resultado de las operaciones de captación realizadas por las células fotosensibles de la matriz que, recordemos, es la representación secuencial de las luminosidades registradas, independientemente del tipo de sensor que sea, pues siempre se realiza la lectura de los datos que llegan al sensor de manera ordenada y sucesiva, en serie, sea su acceso aleatorio o secuencial, dependiendo de si se trata de sensores CMOS o CCD. Para leer estos datos el muestreo se ha de hacer con una frecuencia, llamada *frecuencia de muestreo*, que ha de ser al menos igual al número de datos por segundo que registra el sensor, es decir, si el carro de datos sucesivos contiene el resultado de 100 células por segundo, la señal eléctrica se ha de muestrear, al menos, 100 veces por segundo. Cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo, mayor será la precisión en el análisis de la señal, aunque al ser una señal de naturaleza ondulatoria, es decir con una cresta y un valle, el muestreo se ha de realizar, al menos, al doble de la frecuencia de salida de datos para que cumpla la llamada *condición de Nyquist* y no se pierda información.

En las siguientes etapas, cada uno de los valores muestreados se cuantifica y se codifica, es decir, se le asigna un valor numérico en términos binarios que, convertido a la escala decimal, más reconocible para nosotros, supone un número comprendido en un rango que va desde el 0 al 255, valores que se pueden representar binariamente con un conjunto de 8 *bits*, la *palabra* mínima con que trabajan los equipamientos de procesamiento de información digital, los ordenadores. De este modo, cada valor representado en un *bit* corresponde a un determinado píxel y a una determinada intensidad eléctrica y, a partir de este momento, ya será posible trabajar en el entorno digital en toda su extensión y realizar operaciones matemáticas sobre los datos con gran facilidad.

Después, una vez codificados los valores eléctricos de la señal, se han de estructurar de manera que puedan ser reconocibles como un conjunto orgánico de datos que define una determinada imagen a los que se pueda acceder sin dificultad para su reconstrucción, su visionado y su tratamiento individual o en grupo, tanto en la propia cámara como, sobre todo, en los sistemas informáticos. Es en esta etapa del proceso donde se aplican los controles preestablecidos en la cámara en cuanto al formato de archivo de grabación y, si así se decide y lo permite el algoritmo de grabación de ese formato, la compresión a realizar sobre los datos de imagen y, consecuentemente, el tamaño del archivo almacenado.

En la codificación a 8 *bits* por píxel, es decir, con un margen de 255 valores, una imagen en blanco y negro de 800 x 600 píxeles requiere 480.000 *bits*, 480 Kb. Como es obvio, para una imagen convencional en color hay que multiplicar por 3 esta cantidad, al necesitar 24 *bits* por píxel, es decir, un total de 1,44 Mb. Se puede hacer una codificación mayor de 8 *bits* por píxel, por ejemplo de 12, lo cual incrementaría todavía más el flujo de datos y, en consecuencia, el tamaño del archivo.

Sobre estos datos, en cualquier caso, se pueden aplicar algoritmos de compresión con el objetivo de aligerar el peso del archivo para poder manejarlo con más facilidad en los sistemas informáticos. La compresión puede realizarse sin pérdida, sólo eliminando los datos redundantes, o con pérdida, intentando que sólo se eliminen los datos despreciables y dejando aquellos que se consideren significativos. Por regla general, en una imagen fotográfica, cuanto más complejo es el motivo captado, menos redundancia hay en la información, y, por lo general, cualquier imagen fotográfica registrada es ya de por sí intrínsecamente compleja, al contrario que sucede, por ejemplo, con muchas imágenes de síntesis creadas por ordenador que contienen colores planos y son fáciles de comprimir.

El método de compresión más común para imágenes fotográficas es el denominado JPEG, desarrollado por el Joint Picture Expert Group, y de ahí su nombre, que consiste en descomponer la imagen en bloques de 8 x 8 píxeles y después transformarlos utilizando la codificación DCT, transformada discreta del coseno, que está basada en la utilización de funciones matemáticas para representar los valores de luminancia de cada bloque concentrando las informaciones esenciales y separando los datos redundantes, sin suprimir ninguno. La verdadera compresión, y pérdida de datos se produce cuando se cuantifican los elementos de cada bloque DCT, de manera que se codifican con mayor fidelidad las bajas frecuencias de datos similares que las altas, ponderando sus valores según un coeficiente determinado en función del nivel de compresión elegido.

De este modo, los ficheros JPEG son más manejables que otros tipos de ficheros utilizados en el ámbito fotográfico, como BMP, un tipo de archivo que representa a modo de mapa la estructura de *bits* de la imagen y no realiza ninguna compresión; o TIFF (Tagged Image File Format), fichero de estructura compleja y que, aun facilitando algoritmos de compresión, también genera voluminosos ficheros de datos, como los ficheros RAW, en los que se graban íntegramente todos los datos, utilizando un algoritmo de compresión prácticamente sin pérdida, que, por contrapartida, genera también archivos enormes. No obstante, el formato RAW es el más utilizado profesionalmente porque archivar las imágenes conteniendo todos los datos de igual manera a como se capturaron, proporciona gran flexibilidad para el tratamiento de la imagen, con el único inconveniente de que cada fabricante tiene sus propios algoritmos RAW y para trabajar con estos archivos es necesario abrir el fichero con un software de tratamiento específico para cada marca comercial de equipos fotográficos; por ello algunas cámaras fotográficas de ámbito profesional graban, además, un fichero JPEG de manera simultánea para permitir la visualización y distribución inmediata de la imagen.

Cualquiera de estos ficheros, se ha de grabar sobre un soporte con suficiente capacidad de almacenamiento, y de ahí el interés de la industria y la investigación en tecnología audiovisual desde los inicios de la grabación digital por desarrollar sistemas de compresión de datos que permitan, a costes razonables, grabar un número mínimo de imágenes en soportes y equipamientos con capacidad limitada de almacenamiento y transferencia de datos para poder disponer de ellas con buena calidad en cualquier momento para su tratamiento y distribución.

Los soportes de grabación más utilizados en fotografía, y con más futuro, son las memorias de estado sólido, basadas en las propiedades de las células MOS ya explicadas y de características estructurales muy similares a las matrices de sensores dispuestos para la captación de la imagen ya descritos. La diferencia con los sensores reside en que no almacenan una cantidad variable de carga, sino que sólo registran valores binarios 0 o 1, es decir, o tienen carga o no la tienen, constituyéndose así en un sistema lógico binario. A grandes rasgos, con un conjunto de 8 células podríamos representar 1 *bit* de información. Las células MOS son doblemente efectivas porque son memorias no volátiles, de tipo ROM, y para el almacenamiento es necesario que los

materiales de registro sean así y no necesiten alimentación adicional para mantener las cargas, tal como ocurre con la memoria RAM del ordenador. Las más modernas son de tipo EEPROM, que pueden ser borradas y programadas octeto a octeto, y que, en consecuencia, sirven para reutilizarlas tantas veces como sea necesario.

Basándose en el de almacenamiento MOS y en la no volatilidad de los datos funcionan todas las memorias para registro fotográfico, en general conocidas como tipo *flash*, en sus distintas arquitecturas, llamadas así porque son herederas de la primera memoria no volátil a la que se podía borrar sus datos completamente en un instante, aplicando una tensión de mayor intensidad que la utilizada de manera habitual para el registro. Las memorias *flash* se diferencian entre ellas por su construcción y algunas mejoras específicas para aumentar la velocidad de registro y transmisión de los datos, aspecto crítico para construir equipos de captación que permitan realizar varias fotografías por segundo, de gran utilidad, e incluso de absoluta necesidad, para ciertos tipos de trabajo fotográfico. Entre las tarjetas más usuales encontramos las CompactFlash (CF), SmartMedia (SM), Memory Stick (MS), SD-Memory Card (SD) y XD-Picture Card (XD), todas con la misma tecnología de grabación, aunque permitiendo diferentes densidades de datos en la grabación y velocidades de operación distintas. Cada tipo de memoria responde a mejoras particulares realizadas sobre la de tecnología *flash* de grabación, que da lugar a sustanciales diferencias entre ellas, tanto en su forma física como en sus prestaciones y, sobre todo, en su precio final para el consumidor, que responden a innovaciones tecnológicas específicas, pero también a los intereses comerciales de las empresas que las promueven e instalan los correspondientes dispositivos lectores/grabadores al efecto en sus equipos fotográficos.

Entre los soportes de grabación, además de las tarjetas de memoria de estado sólido, podemos encontrar los clásicos modelos de cámaras que utilizan CD o DVD en sus diferentes formatos de sólo lectura o regrabables, aunque cada vez menos, como también algunas con discos duros, aunque la tendencia es a utilizar estos soportes, sobre todo los discos duros portátiles con lectores de tarjeta multiformato, como sistema de almacenamiento masivo para facilitar la descarga y reutilización de tarjetas. Tanto los CD/DVD como los discos duros están basados en tecnologías de grabación magnética, de modo que polarizando la superficie en la capa magnetizada mediante diferencias de tensión, en el caso de los discos duros, o magnetoópticas, tal como ocurre en los CD o DVD regrabables en los que esta operación se realiza mediante un láser, se consigue registrar digitalmente los datos binarios cambiando la polaridad de cada una de las partículas magnetizadas y, de igual manera que en las memorias *flash*, hacer perdurable y reutilizable la información.

Todo el conjunto de operaciones descritas, desde la captura a la grabación de imágenes fotográficas, se realiza en la cámara, equipamiento cuyas características genéricas veremos a continuación.

2.3.3. Características de las cámaras digitales

Hay infinidad de modelos de cámaras fotográficas en el mercado con prestaciones y precios diferentes que debemos observar con atención para poder utilizarlas de manera productiva y trabajar con efectividad técnica y expresiva.

Las cámaras digitales se pueden distinguir, en primer lugar, en función del sistema de captación, bien porque utilicen un sensor matricial, tipo CCD o CMOS, o estén basadas en un sistema de barrido a modo de respaldo escáner, que está construido con un sensor lineal y, en consecuencia, su uso se limita a la captura de imágenes estáticas; si bien los respaldos son de gran

utilidad en determinadas aplicaciones profesionales en estudio por la gran calidad y resolución que ofrecen, están condenados a ser sustituidos por sistemas matriciales, aunque, en todo caso, pueden perdurar para usos muy restringidos a aplicaciones muy específicas.

Entre las cámaras de sensor matricial podemos distinguir aquellas que van destinadas al aficionado y al profesional, y también podemos diferenciarlas entre sí en función del sistema óptico utilizado, es decir, en función de si tienen un sistema de espejo móvil que deja libre el sensor durante la captura y la posibilidad de disponer de objetivos intercambiables o no; es decir, si son cámaras réflex o compactas. También existen respaldos digitales matriciales que se acoplan a cámaras tradicionales de medio formato para aprovechar las prestaciones de las cámaras de medio y gran formato y alargar la vida útil de los equipos fotográficos tradicionales, aunque ésta no deja de ser una estrategia de transición para aquellos profesionales que gastaron grandes sumas de dinero en comprar equipos analógicos de alta calidad que rápidamente se han quedado obsoletos y, en consecuencia, se ha comprometido seriamente la posibilidad de amortización de la inversión realizada.

En todo caso, para caracterizar cualquier cámara, debemos poner atención a los siguientes elementos, comunes en cualquier cámara digital:

- **Objetivo:** que puede ser fijo o intercambiable, y está sujeto a las leyes ópticas en relación al ángulo de cobertura que cubre, profundidad de campo, nitidez, etc., lo cual depende de su longitud focal y la apertura de diafragma que permite y de sus elementos componentes, siempre en relación a la dimensiones del sensor de la cámara sobre el que concentra la imagen a captar. Cada vez es más frecuente que los objetivos sean de distancia focal variable, es decir *zoom*, y que tengan automatizados el enfoque y la apertura del diafragma, el $n^{\circ} f$, de manera que puedan ser controlados desde la cámara, aunque en los modelos más profesionales siempre se permite la posibilidad de controlar estos parámetros de manera manual. Comúnmente, también disponen de un modo *macro* para objetos cercanos y, para ciertos tipos de aplicaciones, de sistemas de amortiguación y circuitos estabilizadores de imagen para evitar el movimiento indeseado durante la captura.
- **Visor:** por lo general las cámaras suelen disponer de un visor óptico que complementa a una pantalla de cristal líquido, normalmente regulable en contraste e intensidad y de un diámetro que suele ser mayor a 2» en la mayoría de los modelos actuales, en la que se muestra la imagen en color a capturar. Si la cámara es réflex, el visor óptico también corresponde con el encuadre a registrar; en caso contrario, si se observa la escena a través de él, pueden producirse errores de paralaje, al estar el eje óptico de la cámara y el de visionado en planos diferentes.
- **Sistema de medición y determinación de la exposición:** normalmente, las cámaras réflex integran en el pentaprisma varios sensores que, integrados luego en circuitos informático-electrónicos, permiten la posibilidad de evaluar la luminosidad de la escena de manera puntual o promediada, pudiendo con las más avanzadas obtener esos promedios haciendo mediciones puntuales múltiples de zonas de interés seleccionadas. Por lo general, la mayoría de las cámaras tiene preprogramados perfiles que responden a situaciones de iluminación particulares (nocturna, deporte, retrato, paisaje, contraluz, etc.) y permiten controles semiautomáticos de la exposición durante la captura, pudiendo dar prioridad a la velocidad de obturación o la apertura del diafragma. También suelen permitir correcciones sistemáticas sobre la exposición, como sobreexponer o subexponer varias unidades sobre el original o facilitando sistemas multidisparo por horquillado respecto de la medición original.
- **Sistema de obturación:** las cámaras digitales no necesitan obturadores mecánicos, ya que se puede regular el tiempo de exposición mediante los ciclos de descarga de la información registrada en los sensores, aunque algunos modelos disponen de este tipo de obturador para evitar tener descubierto el sensor más tiempo del necesario.

- **Sistemas de control de la sensibilidad:** normalmente, las cámaras disponen de un rango de selección de sensibilidades, que emula la norma ISO para la fotografía tradicional, y cuyas prestaciones sí suelen ser notablemente mejores en modelos profesionales que en los equipos de aficionados, dado que los incrementos de sensibilidad se realizan utilizando niveles de amplificación dentro de márgenes tolerables de ruido, aspecto que los equipos domésticos cuidan mucho menos y que, en general, se traduce visiblemente en peores resultados en las sensibilidades extremas.
- **Balance de blancos:** las cámaras digitales permiten la posibilidad de realizar automática o manualmente esta operación de adecuación del espacio de color a diferentes situaciones de captura. Entre los programas pregrabados se suelen incluir situaciones de iluminación comunes para seleccionar la más adecuada y determinar el mejor equilibrio de color, o *balance de blancos*, entre las que se encuentran interiores, exteriores, ambientes nublados, luz fluorescente, etc.
- **Sistema de almacenamiento, tipos de archivos y compresión:** todas las cámaras digitales disponen de ranuras para inserción de tarjetas de almacenamiento y facilitan sistemas de transferencia de archivos al ordenador mediante conectores físicos, normalmente USB o IEEE 1394, o tecnologías inalámbricas por IR, WIFI y/o *Bluetooth*. De igual manera, entre las opciones de grabación se suele ofrecer la posibilidad de varias tipologías de archivo, normalmente RAW, TIFF y JPEG cuanto menos, y distintas resoluciones y calidades, en caso de que el formato permita compresión. Como decíamos, algunas cámaras ya están ofreciendo la posibilidad de grabar duplicados los datos en formato RAW y JPEG, para facilitar el disponer de la imagen en bruto y al tiempo poder visualizarla.
- **Efectos especiales y funciones accesorias:** la mayoría de las cámaras ofrecen rudimentarios tratamientos de imagen que, en general, son de poca utilidad, puesto que cualquier manipulación que haya de realizarse se hará de manera mucho más productiva una vez transmitidos los datos al ordenador y con el software específico para ello. Podemos encontrar también cada vez más, sobre todo en los modelos domésticos y semiprofesionales, funciones accesorias, como grabación de vídeo o de sonido, prestaciones que comparten con otros dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles o agendas electrónicas personales, en un intento de integración de todas las funciones multimedia en un solo dispositivo, objetivo prioritario de crecimiento comercial para los sectores tecnológicos de la industria de consumo y el entretenimiento audiovisual.
- **Iluminación *flash*:** normalmente integrado en todos los modelos de aficionado y la mayoría de los profesionales, los cuales, además, disponen de zapatas para la colocación de *flashes* portátiles externos y sistemas de sincronización con equipos de *flash* en estudio. Normalmente, se suelen incluir programas electrónicos que permiten la eliminación de los ojos rojos en las tomas con *flash*, y, en las cámaras más profesionales, sistemas multidisparo y diversas velocidades de sincronización.
- **Sistema de alimentación:** en general, aunque hay modelos domésticos que utilizan pilas desechables, se utilizan baterías de alta capacidad y óptima vida útil; en la actualidad, normalmente basadas en polímeros de litio, y también se dispone de la posibilidad de alimentación directa a la corriente eléctrica mediante un transformador o desde el ordenador utilizando conectores USB.

Con todo ello, y en definitiva, para la elección de una cámara se han de tener en cuenta su calidad óptica, su resolución, la sensibilidad del sensor y sus cualidades colorimétricas y, finalmente, la calidad del visor, pero, sobre todo, siempre se ha de elegir leyendo con mucha atención sus características técnicas sin prestar más atención de la debida a los aspectos promocionales para su venta.

2.3.4. Manipulación digital. Software de tratamiento fotográfico

Una vez capturada y registrada la imagen digitalmente en la cámara, disponemos de un archivo informático grabado sobre un soporte, en la actualidad usualmente tarjetas con tecnología *flash* como explicábamos arriba, que podemos utilizar de manera autónoma en otros equipos. El gran potencial de los sistemas digitales radica en la facilidad con que se pueden manipular los datos en estos equipos para modificar la imagen original y hacer el proceso repetible hasta extremos a los que la fotografía fotoquímica llegaba con gran dificultad o, sencillamente, resultaban ser manipulaciones inimaginables o, cuanto menos, imposibles de realizar en la práctica de manera productiva. En la fotografía analógica, reproducir cualquier manipulación sobre la imagen durante el proceso de revelado y ampliación se hacía con gran dificultad dada la multiplicidad de factores a controlar durante el proceso; la fotografía digital, en cambio, permite realizar infinitud de manipulaciones sobre la imagen absolutamente reversibles y repetibles tantas veces como se desee, y prácticamente en un *click* en la mayoría de las ocasiones.

Sin embargo, la repetibilidad de los procesos y la facilidad con que se realizan las manipulaciones técnicas en los actuales sistemas digitales frente a los analógicos ha generado no pocas polémicas y ha sido criticada históricamente por su falta de *artisticidad*, siguiendo la estela de lo que Walter Benjamin denominaba *pérdida de aura* en su archiconocido texto *La obra de arte en la época de la reproductibilidad técnica*, un intento desesperado, no exento de parcialidad y sectarismo, de entender el arte como una manifestación etérea de no se sabe qué bondades intangibles.

Tras esta radical postura, que tacha la fotografía digital de falta de *artisticidad*, subyace el intento poco disimulado de dar un estatuto más honorable a la manifestación artística, intentando situarla *incontaminada* por encima de toda técnica, buscando su autenticidad intrínseca a costa de borrar toda supuesta artificiosidad. Sin embargo, cualquier arte sólo es posible gracias a la tecnología de que se dispone en el momento histórico de su desarrollo y, por mucho que se pretenda criticar enconadamente la falta de *artisticidad* de las tecnologías digitales y la demasiada facilidad con que se realizan todos los procesos, no es intrínseco a la creación artística el sufrimiento y el laborioso trabajo, ni el manejo de un pretendido saber trascendental sólo accesible a los iniciados.

La popularización de las tecnologías digitales, su masificación y reproductibilidad que tanto criticaba Benjamin, borra definitivamente los supuestos atributos demiúrgicos con que algunos pretendían definir al artista clásico, categoría social ya puesta fuertemente en crisis desde las vanguardias históricas, pero definitivamente defenestrada de los privilegios sociales en la última década con la introducción de las tecnologías digitales en el ámbito cotidiano, que ofrecen a cualquiera la posibilidad de expresarse y convertirse en fotógrafo, director de cine o cualquier otro *artistismo*.

Sin embargo, ese es también exactamente el problema con el que nos encontramos, ya que, independientemente del valor y los atributos del arte, cualquiera puede atribuirse la etiqueta de *artista*, de fotógrafo o director de cine, tanto como de político, por el mero hecho de tener una cámara que hace fotos o vídeos y algunos conocimientos fotográficos o cinematográficos, o por tener a su disposición un *blog* en el que expresar sus opiniones sobre lo humano y lo divino. No obstante, existen, naturalmente, diferencias sustanciales entre los conocimientos y el trabajo que realiza un fotógrafo profesional, o un filósofo, y cualquier otra persona que se acerque sin preparación a este campo del conocimiento, pues, aun siendo las propuestas de cualquiera muy respetables, las opiniones comunes raramente están fundamentadas y son sólidas como lo puede ser un ensayo filosófico; tanto como en las fotografías pretendidamente

artísticas no es difícil ver el artificio y la repetibilidad, el *déjà vu* que se pretende novedoso y original, tanto como sus creadores. Es decir, la popularización de la tecnología fotográfica digital no ha degradado la *artisticidad* de la fotografía, bien al contrario, ha facilitado que se desarrollen propuestas que hasta hace poco quedaban en los márgenes de los circuitos del arte, debido al férreo control y absolutismo que ejerce sobre él el mercado y sus mercaderes, pero sí ha introducido mucha confusión y eclecticismo y hoy día es difícil distinguir y seleccionar lo que merece la pena entre tantas propuestas y tantos cientos de miles de quienes se dicen fotógrafos y de millones de quienes llaman fotografías, entre las que sin duda hay algunas que sí contienen un valor añadido que las hace distintas, un *punctum* que decía Roland Barthes, y que es independiente del número de copias e imitadores que la imagen tenga; seguramente, el único valor que hace todavía que algo sea más arte que algo otro. Las demás fotografías son sólo tomas de vistas con intereses más o menos expresivos, cuyo visionado se hace cómodo y grato cuando se presentan como tales, pero que cuando se muestran pretenciosas sólo irritan la mirada.

En los procesos fotográficos tradicionales esa autenticidad era casi obligada cuando se entraba al laboratorio a manipular con fines artísticos las tomas fotográficas ya registradas en la película de plata para obtener los resultados expresivos deseados, ya que se hacía manualmente, tal como indica el propio término, y era por tanto un proceso artesanal, irrepetible; en el otro extremo, el de la potente y multimillonaria industria de la imagen, se buscaba lo contrario, hacer los procesos más automatizados para aumentar la productividad y la rentabilidad del negocio. De este modo, se han conformado en torno a la fotografía dos corrientes de desarrollo aparentemente opuestas: una dedicada a la producción *fordiana* en masa (tal como Henry Ford impulsó para la industria automovilística a principios del siglo pasado), y otra heredera de la tradición pictórica, que hacía de la fotografía un medio de expresión artístico más. Al imponerse de manera abrumadora la popularización de la tecnología como resultado de la política de impulso industrial *fordiana* se ha minimizado el valor de la corriente expresiva, provocando, en consecuencia, la reacción airada de sus adláteres que, en su defensa, tachan todo lo demás de poco artístico. Como veremos a continuación, y vamos sosteniendo, esta es una discusión estéril, y lo que en cualquier caso es cierto es que los sistemas digitales de tratamiento de imágenes están fundamentados en los sistemas tradicionales y suponen mejoras sustanciales sobre sus limitadas posibilidades, que se extienden más allá de lo imaginable hace unos años, con resultados expresivos de gran calado que para nada se deben infravalorar con argumentos que no se sostienen. Todavía a los críticos les queda la tabla de salvación del soporte, ya que los datos digitales se copian, reproducen, intercambian, distribuyen, etc., con absoluta facilidad frente a las artes clásicas de soporte (más o menos) único, como la pintura, la escultura, etc. Pero este no es más que otro recurso desesperado que sólo certifica que el cambio de paradigma cultural es evidente y que los nuevos medios se han de abordar con nuevas herramientas conceptuales sin prejuicios heredados que sólo conducen a debates estériles.

El programa de tratamiento de imágenes por excelencia que ha recogido la esencia de todos los procesos tradicionales, automatizándolos y mejorándolos sobremanera, y del que el resto de programas en el mercado son émulo, es *Photoshop*, que ha ido mejorando versión tras versión, algunas veces con mayor y otras con menor acierto, pero que, desde sus inicios, adoptó de manera muy efectiva un consolidado sistema de trabajo tradicional al entorno informático, introduciendo mejoras e innovaciones sustanciales, y de ahí su éxito.

2.3.4.1. Introducción a Adobe Photoshop cs3

Antes de abordar el análisis de las prestaciones del programa, debemos recordar y tener en cuenta que, al contrario que los gránulos de plata oxidada que contenían los soportes fotoquímicos, en el entorno digital estamos trabajando con matrices de píxeles bidimensionales que conforman la imagen, y cada uno de ellos está definido por sus atributos de luminosidad y color y es accesible a partir de sus coordenadas espaciales; la forma en que los datos estén físicamente grabados en el soporte que utilicemos es indiferente, y el sistema informático realizará su codificación y decodificación en función del formato del archivo elegido, sus algoritmos de compresión y descompresión, y los protocolos de grabación y lectura de los datos sobre el soporte. En lo que nos interesa a nosotros, es necesario tener claro que, independientemente de todo ello, cada uno de los puntos de la imagen puede variar su valor numérico y, por tanto, ser modificado con mucha facilidad. Para hacer esta misma modificación sobre un gránulo de haluro de plata en los sistemas analógicos tradicionales debíamos realizar una compleja integración de las características de los soportes y los procesos fotoquímicos del revelado y la ampliación para poder obtener resultados que algunas veces eran difíciles de repetir. Por ejemplo, para realizar una corrección de color sobre una copia con una dominante verde debíamos poner en la ampliadora el negativo, elegir el filtro adecuado en la proporción correcta para que absorbiese esa longitud de onda, realizar la exposición del papel interponiendo el negativo a una fuente de luz estable y de temperatura de color adecuada; después, se había de revelar el papel controlando las condiciones de temperatura de la solución química y su acidez, así como el tiempo que actuaba sobre el soporte. En un sistema digital basta que al dato que define el componente verde para cada uno de los píxeles de la imagen, normalmente definidos por su valor RGB o Y/C ya explicados, le restemos el valor adecuado en una sencilla operación matemática que los ordenadores hacen en un instante y, con ello, disminuimos el valor del verde sin más complicación. Con los programas informáticos esta antaño compleja operación se lleva a cabo moviendo un deslizador con un *click* de ratón y, además, se puede ver el resultado en tiempo real, algo que era imposible en los sistemas fotoquímicos, en los que había que esperar al final del proceso para ver los resultados y, en caso de no haber obtenido los esperados, se había de volver a repetir todo desde el principio, con el consiguiente gasto de material y de tiempo.

A continuación, podemos ver el aspecto inicial que presenta el programa de tratamiento digital Photoshop en su versión cs3. A la izquierda, podemos distinguir la barra de herramientas, y justo debajo de los menús superiores las opciones disponibles cada vez que utilicemos una de ellas. A la derecha, las ventanas que conforman el espacio de trabajo estándar, y en la parte superior, en azul, vemos el nombre del archivo con el que estamos trabajando, la capa seleccionada y el modo de trabajo, en este caso RGB con una profundidad de 8 *bits* para cada color. En la parte inferior de la ventana, se nos indica el tamaño de visionado respecto al original y el espacio que ocupa el archivo en el disco.

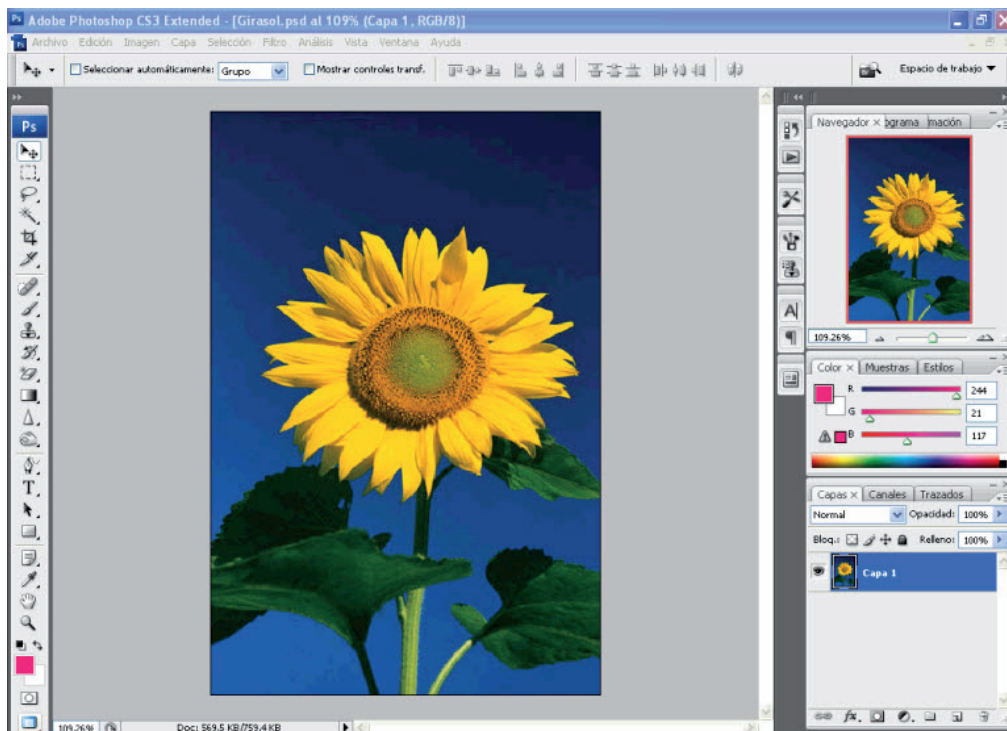


Ilustración 72. Espacio de trabajo de Adobe Photoshop cs3

Con una imagen como la de la muestra, podemos comprobar la facilidad de operación de los sistemas digitales, que, como decíamos, no hacen más que modificar los valores de cada píxel o grupos de píxeles y, tal como vemos a continuación, aplicando funciones matemáticas específicas resulta muy sencillo hacer transformaciones radicales a la imagen, en este caso, aplicando un filtro de distorsión, pudiendo además ver los efectos de manera inmediata.

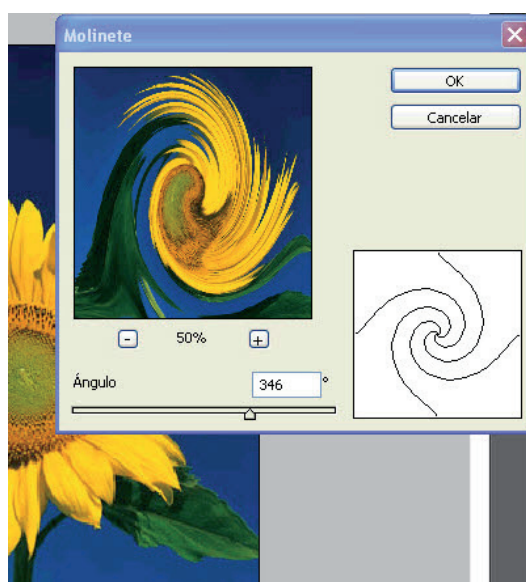


Ilustración 73. Efecto molinillo

Como es sabido, la formación de la imagen en color se realiza a partir de la superposición de los datos específicos de cada color, en este caso, colores aditivos RGB, sobre los que se puede operar individualmente o agrupándolos; de este modo, el programa no hace más que trasponer esta característica estructurando la imagen internamente en los tres canales componentes de cada color.



Ilustración 74. Ventana de canales de color

Sobre los canales se pueden realizar transformaciones diversas que, como podemos ver, son herencia de los métodos tradicionales de análisis sensitométrico y, como no puede ser de otro modo, siempre suponen modificaciones sobre los valores de densidad, representados sobre el histograma o la curva sensitométrica.

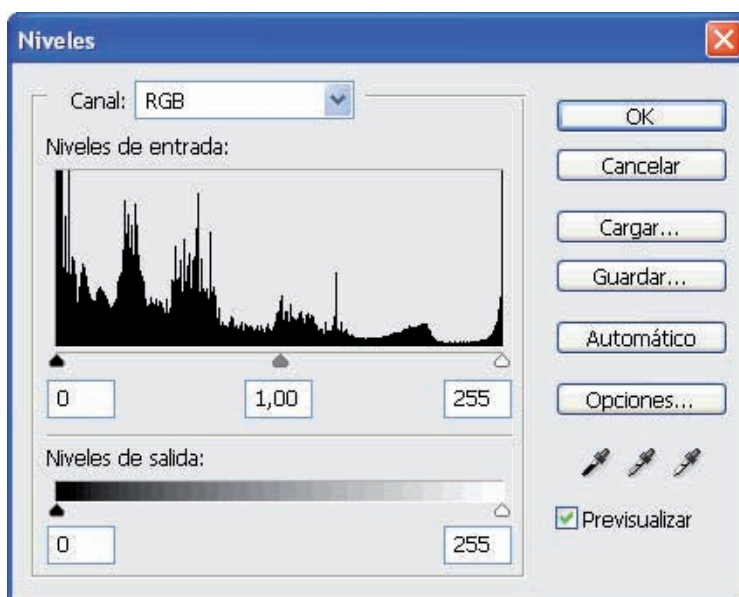


Ilustración 75. Histograma

En esta ventana de niveles se puede observar la distribución de valores de gris de la imagen, entre 0 y 255, tal como corresponde a los valores decimales posibles con 8 bits, y el lugar donde está situado el valor gamma, 1,00. Desplazando los tiradores se puede variar el rango dinámico y el valor de gamma, afectando al contraste de la imagen de manera significativa

y, lo que es más importante, visualizando los resultados en tiempo real y pudiendo deshacer los cambios. Esta operación se puede realizar sobre el conjunto de la imagen o sobre un canal específico, de igual manera que en la ventana *curvas*. En este caso la representación se realiza con el histograma de fondo y una línea que informa del valor de gamma que se puede modificar para, por ejemplo, hacer que un valor de gris medio en la entrada se convierta en negro haciendo, en este caso, que el punto de la línea correspondiente a ese gris medio se acerque al eje horizontal, simplemente arrastrándolo con un clic sin soltar el ratón.

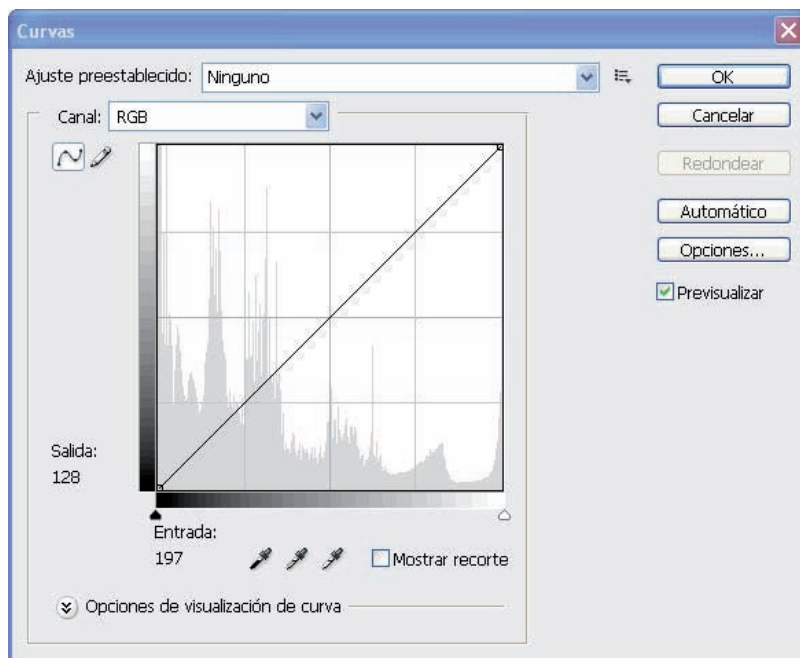


Ilustración 76. Curvas

Otra de las prestaciones de gran utilidad que el programa pone a disposición de los fotógrafos es una depurada gestión de color, con multitud de perfiles, que permiten la transferencia y visualización efectiva en diferentes dispositivos de salida que, por definición, representan la imagen en diferentes espacios de color. Tal como explicábamos, una de las mayores dificultades de la captura y reproducción de imágenes es la diferencia intrínseca existente entre los materiales de registro y las características de los diversos equipamientos. Por ejemplo, la misma escena capturada con dos cámaras idénticas con ópticas de igual longitud focal pero de distinta construcción dará como resultado una imagen a registrar sobre el soporte diferente; si esa matriz fotosensible no es exactamente del mismo tipo, también habrá diferencias; si el formato de archivo de grabación realiza compresión, también influirá el uso de un algoritmo u otro; y, por supuesto, lo que veamos en la pantalla de la cámara será distinto a lo que veamos en diferentes monitores según las características colorimétricas de estos, así como si realizamos una impresión en papel el aspecto de la copia variará según el tipo de equipo y sistema de impresión utilizado y la composición química del papel, obteniendo, en definitiva, con cualquier mínima variación en todo el sistema, resultados visiblemente diferentes. A continuación, podemos ver las diferencias de espacio de color entre distintos dispositivos que, como se puede observar, puede variar mucho de unos a otros, y en relación a lo que nuestros ojos perciben.

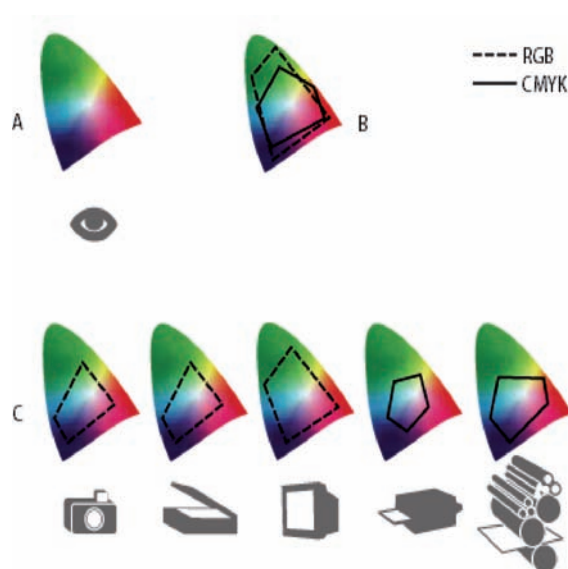


Ilustración 77. Espacios de color de diversos dispositivos

Los valores que podemos observar a continuación se refieren precisamente a sistemas estandarizados de color, útiles para que las posibilidades colorimétricas del espacio de trabajo sean adecuadas y reproducibles, tal como vemos, atendiendo a una determinada norma para trabajar con archivos RGB (para salida en pantalla), y CMYK (para salida mediante impresión en sistemas de tinta), según el ajuste ya predefinido por el programa que contiene la configuración de valores de uso; en este caso, se han elegido los habituales en Europa por defecto, aunque todos los parámetros se pueden configurar de manera específica.

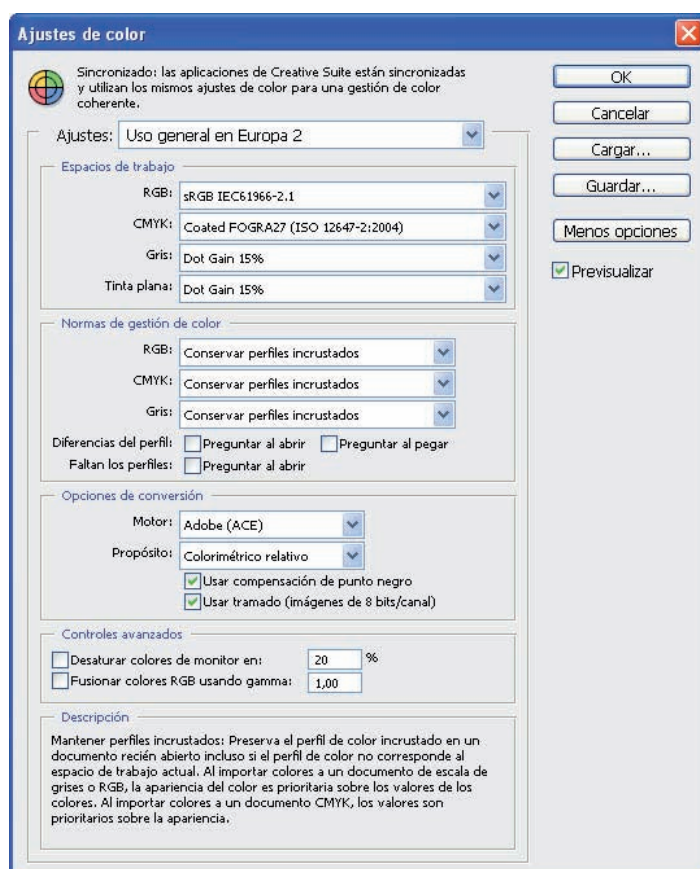
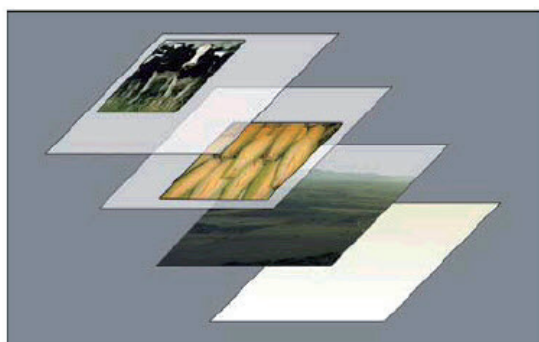


Ilustración 78. Gestión de perfiles de color en Adobe Photoshop cs3

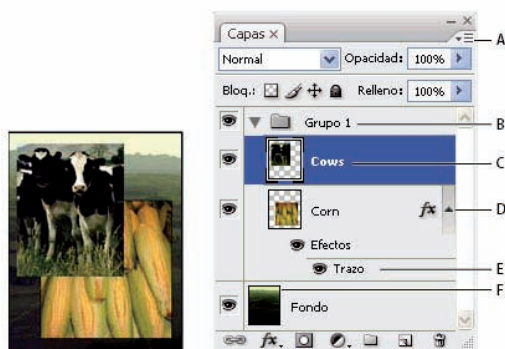
Al igual que para la formación del color se utilizaba en fotografía clásica el emperadado de los diferentes registros para cada uno de ellos con tintes CMY (la K se introdujo para impresión con tintas y se refiere a una capa de negro para aumentar el contraste resultado de la abreviación de la palabra *Key* en el acrónimo), y se utilizaba un sistema de filtrado en cada capa para hacer llegar a cada registro sólo las longitudes de onda correspondientes a cada color, formando así un sistema en forma de capas superpuestas, también se podían superponer diferentes fotografías para realizar composiciones complejas de imágenes, o de imágenes y texto, lo cual, utilizando métodos tan artesanales, suponía gran dificultad, un elevado coste económico y mucha paciencia para obtener resultados óptimos. El programa informático, heredando tales técnicas, permite el trabajo por capas que se pueden superponer y mezclar de diversas maneras, la más básica dejando áreas transparentes que dejen visualizar las capas inferiores, tal como superpondríamos dos fotografías por los métodos artesanales clásicos.



Las áreas transparentes de las capas dejan ver las capas situadas por debajo.

Ilustración 79. Sistema de composición por capas en Adobe Photoshop

En la imagen siguiente podemos ver la complejidad con la que se puede llegar a trabajar superponiendo capas de distintos tipos y las opciones que ofrece la ventana de capas.



Paleta Capas de Photoshop

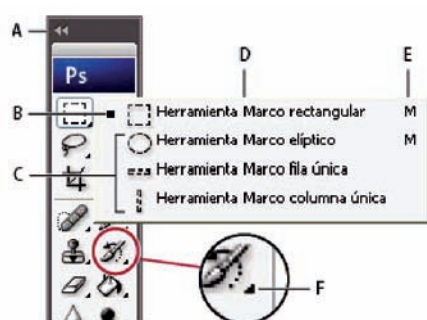
A. Menú de la paleta Capas **B.** Grupo de capas **C.** Capa **D.** Expandir/Contraer efectos de capa **E.** Efecto de capa **F.** Miniatura de la capa

Ilustración 80. Ventana de capas

Cuando en fotografía tradicional queríamos hacer una composición de varias fotografías, debíamos exponer el negativo o positivo en la ampliadora una sobre otra, para lo cual se podía enmascarar parte de uno de ellos para dejar libre esa zona con la imagen del otro o, de manera menos común por lo irreversible del método, recortar los dos originales, montar uno sobre otro y luego realizar la exposición. Con el software de tratamiento digital basta con crear dos capas

y elegir la forma de fusión y la opacidad de cada una de ellas. Como es natural, la pila de capas se ve virtualmente desde arriba, de manera que la superior tapa a la que hay debajo y, para descubrir la inferior, además de poder verse en las partes de la imagen no cubierta por la capa superior, se puede variar la transparencia o utilizar diversos métodos de fusión que facilita el programa pudiendo, por ejemplo, sustituir una imagen por sólo un color de la otra o a partir de ciertos umbrales de luminosidad u otros métodos. De este modo, se puede, por ejemplo en un retrato, hacer, con un solo clic, que el fondo negro o de otro color homogéneo de una fotografía de retrato en estudio se sustituya por un paisaje o similar, recurso muy utilizado por los profesionales especializados en fotografía social y con el que obtienen pingües beneficios con facilidad e, incluso, cierto reconocimiento artístico por realizar este truco de prestigiatón que en la fotografía tradicional sí sería trabajoso de llevar a cabo y realmente meritorio.

A continuación, y para finalizar esta breve introducción a las características del programa Photoshop, se puede ver la descripción de la multitud de herramientas de trabajo que facilita, muchas concebidas a partir de instrumentos y útiles de laboratorio, como por ejemplo la cuchilla o el pincel. Su selección se hace desde la paleta de herramientas, y cada una de ellas dispone de varias opciones de uso y acceso directo por teclado, muy útil cuando se trabaja de manera intensiva con el programa.



Uso de las herramientas de selección

A. Paleta Herramientas **B.** Herramienta activa **C.** Herramientas ocultas **D.** Nombre de la herramienta **E.** Método abreviado de la herramienta **F.** Triángulo de herramienta oculta

Ilustración 81. Cuadro de herramientas

En el conjunto de herramientas podemos agrupar aquellas que sirven para la selección de partes de la imagen por distintos métodos; aquellas otras que sirven para cortar y crear sectores en la imagen, útiles en la creación de páginas web; y herramientas de recorte, de pintura, de dibujo y texto; y, por último, aquellas que facilitan la navegación o sirven para realizar anotaciones o mediciones precisas en imágenes complejas.

En primer lugar, se puede trabajar con toda la imagen o, más comúnmente, seleccionar una parte de ella utilizando diversos métodos, algunos de los cuales utilizan la facilidad de trabajo con datos digitales para, por ejemplo, hallar los bordes de la imagen y ajustar a ellos la selección con la herramienta lazo magnético; o seleccionando un grupo de píxeles según sus características cromáticas. Siempre que se realiza una selección cualquiera, pulsando el botón derecho del ratón y utilizando la opción adecuada, ésta se puede convertir en una capa independiente, lo cual facilita enormemente el trabajo.

Galería de herramientas de selección

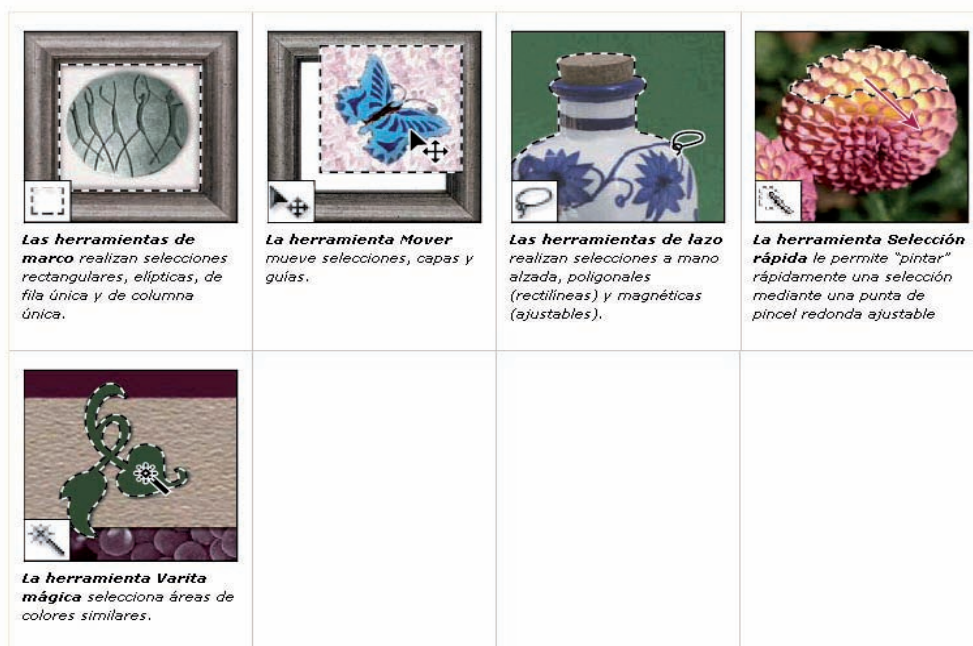


Ilustración 82. Herramientas de selección

Un segundo grupo de herramientas está dedicado a la división de la imagen y la creación de sectores, que resultan de utilidad cuando la imagen se va a destinar a otros programas que utilizan protocolos *html* o *xml* para navegación mediante enlaces, operaciones de incrustación que facilita el software como herramienta de integración con otros programas que forman parte de la plataforma de Adobe cs3 y están dedicados a la creación de páginas para Internet, como *Dreamweaver* y *Flash*, o para edición de vídeo y autoría de *DVD* como *Premiere*, incluidos en el paquete de software.

Galería de herramientas para cortar y crear sectores



Ilustración 83. Herramientas de recorte y creación de sectores

Tal como vemos a continuación, en el grupo de herramientas de retoque encontramos multitud de facilidades para reparar la imagen, enfocarla, modificar la saturación de los colores e incluso corregir los ojos rojos producidos por las capturas con cámaras en las que se dispara el *flash* sin posibilidad de corrección en la toma (normalmente, las cámaras suelen facilitar esta corrección como opción del menú de configuración, operación que obliga al envío de cortos impulsos de luz antes del disparo para que en los sujetos fotografiados se cierre la pupila de

manera natural y se evite el reflejo del *flash* en la retina y con ello el registro de la circulación sanguínea del interior). Todos los retoques se pueden realizar, como venimos señalando, sobre la imagen completa, sobre partes seleccionadas de la imagen, o sobre capas específicas; y se pueden igualmente utilizar máscaras que oculten a la modificación aquellas zonas que no queremos retocar.

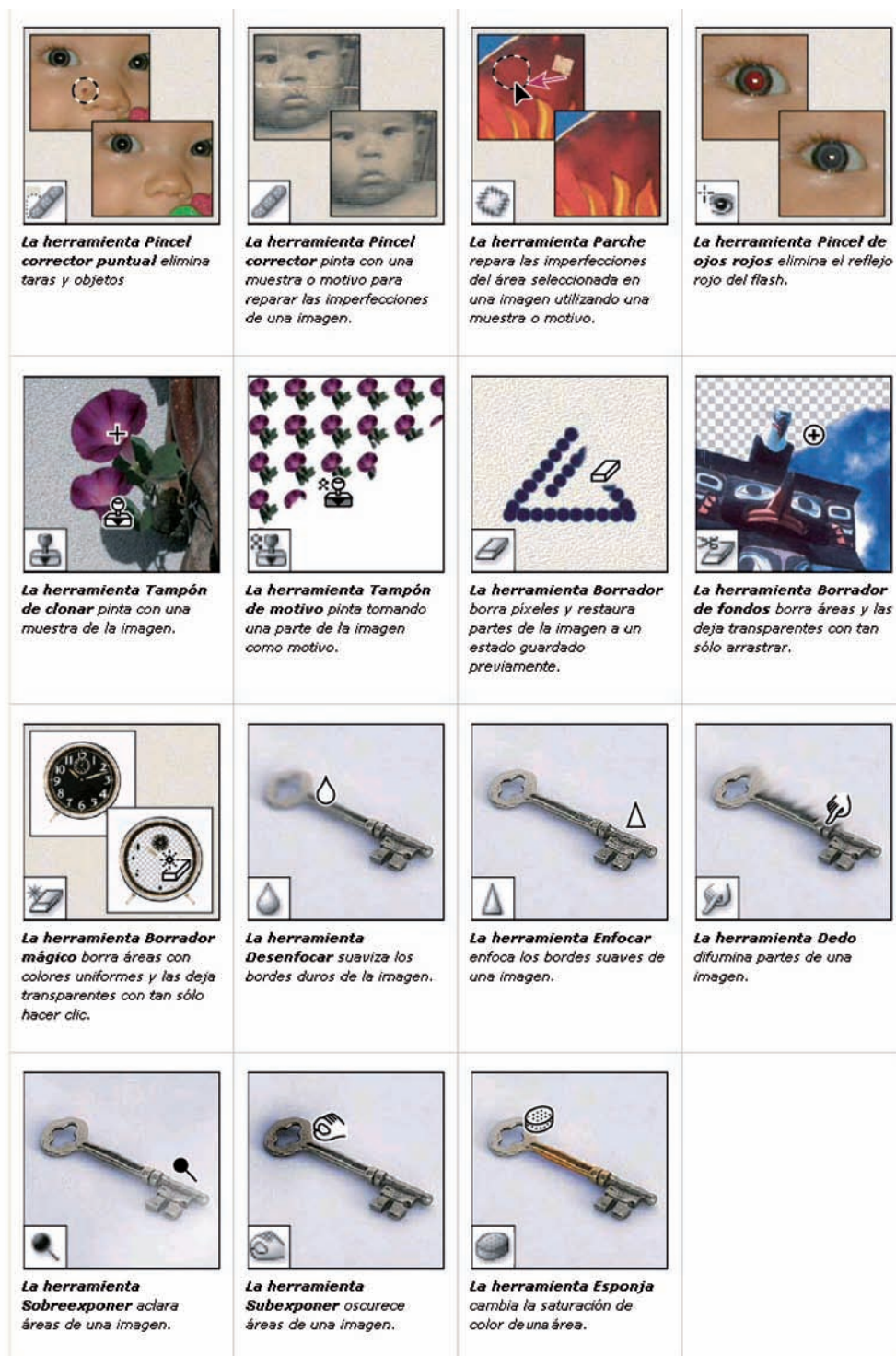


Ilustración 84. Herramientas de retoque

Existen también un grupo de herramientas de pintura, algunas sofisticadas, como por ejemplo el pincel de sustitución de color, y otras que sin duda facilitan mucho el trabajo de los fotógrafos para la creación de fondos y efectos con facilidad que permiten mejorar mucho la productividad, sobre todo para los fotógrafos sociales, como por ejemplo las herramientas de degradado, ya que, hasta hace no mucho, el fotógrafo de estudio se veía obligado a disponer de multitud de fondos de diversas texturas y degradados para acompañar la escenografía para la toma fotográfica. Con las herramientas que facilita el software de tratamiento fotográfico basta un fondo negro que después se sustituye por cualquier imagen, cualquier motivo o una composición de colores en forma de degradado. Por su parte, no son menos útiles las herramientas de dibujo y texto, que permiten inscripciones sobre la imagen de manera muy fácil e inmediata.

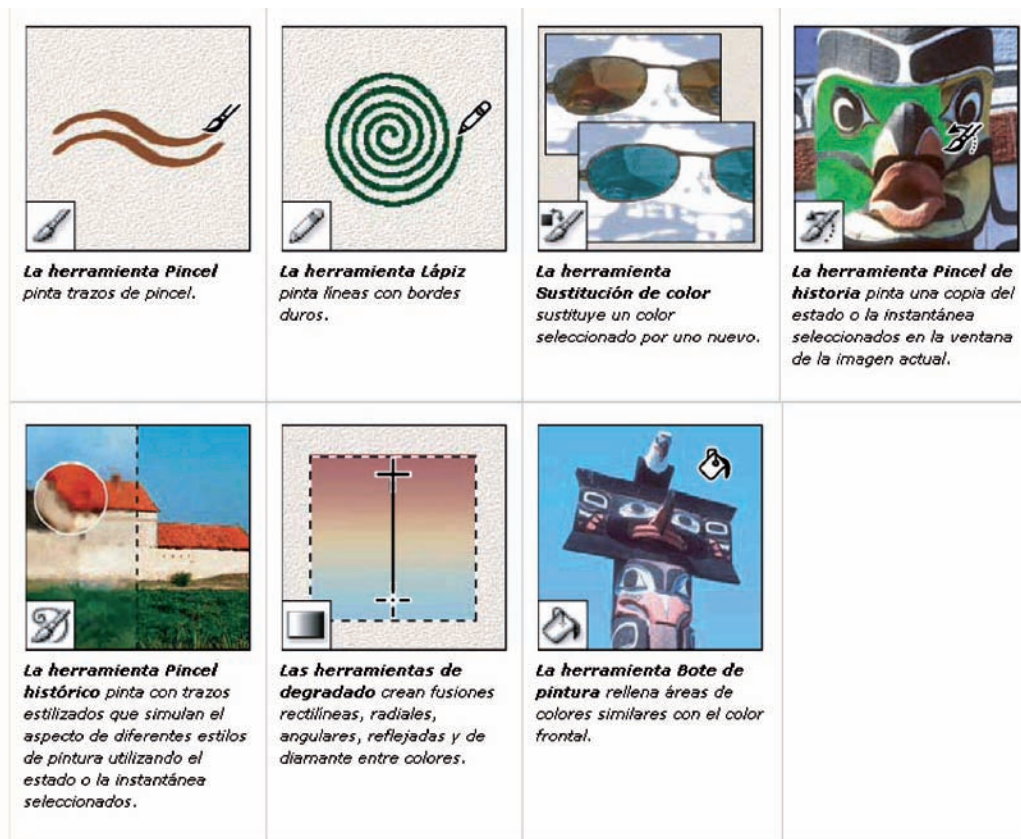


Ilustración 85. Herramientas de pintura



Ilustración 86. Herramientas de dibujo y texto

Finalmente, encontramos algunas herramientas de interés y gran utilidad, como por ejemplo, el cuentagotas, que permite tomar muestras de color para su posterior utilización o diversas herramientas para navegación y medida.

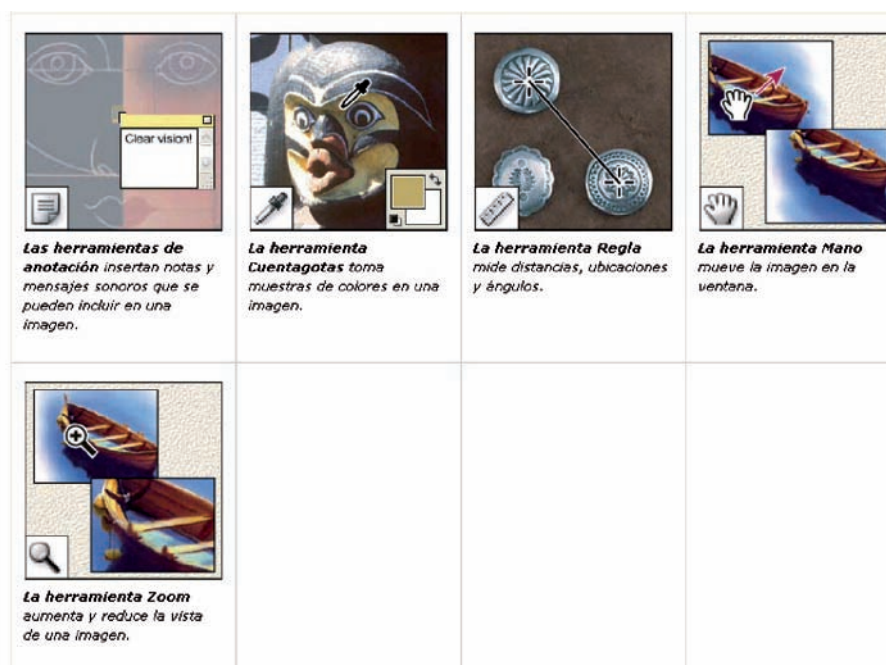


Ilustración 87. Herramientas de anotación y medida

Con todas estas herramientas y la estructura en forma de capas con que trabaja el programa, se pueden realizar transformaciones muy importantes sobre la imagen original de manera fácil y eficiente. Los resultados y objetivos expresivos deben estar conformes al uso que se va a hacer de la imagen, aunque cierto es que las pautas de trabajo rutinarias en los estudios fotográficos acaban por hacer automáticos también los procesos de retoque y en muchos casos, revisando con atención, por ejemplo, cualquier revista convencional, la mayoría de las fotografías que encontramos, aun siendo distintas escenas, tienen un mismo estilo expresivo, precisamente porque utilizan herramientas y técnicas de retoque similares. Tal como argumentábamos, nada de ello tiene que ver con la *artisticidad* o no intrínseca a la fotografía realizada con tecnología digital que, sin duda, es potencialmente igual o mayor a la que se puede conseguir con la fotografía clásica.

2.3.5. Impresión y distribución de imágenes digitales

Tal como vimos, las alternativas de copiado de la imagen son muchas y una vez digitalizada la imagen desde el ordenador podemos utilizar diversos periféricos para obtener una copia, generalmente una copia impresa. Entre los dispositivos de copia más comunes en el ámbito doméstico encontramos las impresoras láser, las de inyección de tinta y las térmicas, pero también, ya en laboratorios y estudios fotográficos profesionales, podemos encontrar copiadoras ópticas tipo Lambda que utilizan pequeños puntos de luz, llamados *led*, o sistemas de impresión profesional de última generación basados en tecnología láser.

Como podemos ver a continuación, una impresora láser funciona haciendo impactar progresivamente un estrecho haz de luz sobre la superficie de un tambor giratorio cargado positivamente, lo cual provoca que cada uno de los puntos de luz que impactan sobre él, correspondiente a cada coordenada espacial específica de la imagen, quede cargado eléctricamente. Ese tambor gira durante la impresión sobre un depósito de tinta, llamado *tóner*, y recoge pigmento en los puntos cargados para luego, en contacto con una superficie de papel que gira con el cilindro y se desplaza longitudinalmente a lo largo de su superficie, depositarlos sobre ella. Finalmente, la imagen registrada se sella térmicamente y queda así fijada sobre el papel. Aunque el sistema que vemos en el esquema sólo serviría para copias monocromas es suficientemente didáctico como para entender el proceso. Como es natural, para una copia en color habría que hacer 4 registros al menos, uno para cada color sustractivo CMYK, es decir, hay que disponer de 4 cilindros con sus correspondientes tintas y un sistema elaborado de impresión sobre papel que puede realizarse en 4 pasadas o de una sola, dependiendo del mecanismo de arrastre y la construcción del equipo.

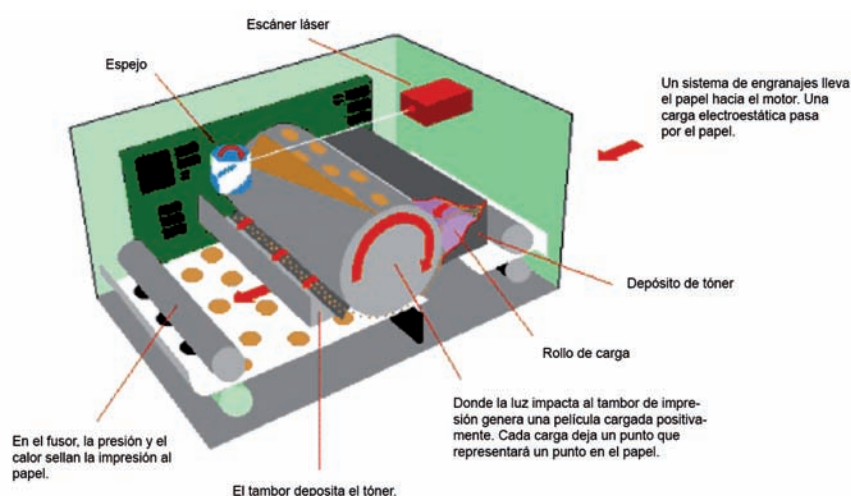


Ilustración 88. Esquema del funcionamiento de una impresora láser

La diferencia fundamental que existe entre los sistemas de impresión láser domésticos y los profesionales es la precisión y prestaciones de los equipos, pero, además, los sistemas profesionales, en lugar de utilizar papel convencional para impresión con tinta, que todavía hoy ofrecen prestaciones limitadas en cuanto a resolución adecuada de calidad fotográfica, utilizan papel cromógeno, es decir, papel fotográfico basado en los compuestos de plata que se procesa como tradicionalmente con tecnologías químicas. En lugar de en una ampliadora, el papel cromógeno se expone a la luz del láser, como en el sistema de impresión Lambda que vemos abajo, para formar una imagen latente que luego se revelará, como en las copias fotográficas tradicionales en papel. En el caso de aquellos equipos que utilizan tecnología LED, la exposición, en lugar de hacerse de manera secuencial moviendo el emisor láser sobre la superficie del papel, se realiza al modo de las capturas fotográficas, es decir, en paralelo, porque los *led* se disponen en una matriz bidimensional y funcionan a modo de píxeles de luz que se encienden con diferentes luminosidades para exponer el papel cromógeno a la luz.



Ilustración 89. Sistema de procesamiento digital

Otra tecnología que se usa en el ámbito doméstico, pero también cada vez más en el profesional (sobre todo para carteles publicitarios e impresiones en gran formato), es la de inyección de tinta, que consiste exactamente en lo que su nombre indica, la inyección en el papel de la tinta depositada en los cartuchos que sale disparada de los inyectores al ser calentada, de modo que las microgotas de tinta, al aumentar su temperatura, son proyectadas sobre el papel y chocan con la superficie a imprimir, formando conjuntos de puntos aleatorios correspondientes a cada uno de los colores de cada cartucho de color, CMYK. Algunas marcas introducen mayor número de tintas para mejorar las prestaciones, y se construyen impresoras cada vez de mayor tamaño con las que se obtienen resultados de gran calidad.



Ilustración 90. Impresora de inyección de tinta de gran formato

El detalle con que podemos registrar sobre papel la imagen en cada uno de los equipos viene determinada por el sistema de impresión que utilicen y las características específicas de cada modelo, pero, independientemente de las prestaciones del hardware, la resolución de salida depende del tamaño y del uso que se vaya a hacer de la imagen y de la resolución con que se capturó. El detalle de una imagen impresa depende de la resolución y la frecuencia de trama, es decir, cuanto mayor sea la resolución del dispositivo de salida, más precisa (mayor) es la lineatura de trama (número de líneas por pulgada) que puede utilizarse.

Normalmente, cuando se utilizan impresoras de tinta los propios equipos permiten los ajustes necesarios de manera automatizada en función de la resolución que permite el dispositivo de salida; no es ni siquiera necesario transformar la imagen RGB a CMYK, pues la conversión al espacio de color adecuado ya se realiza de manera automática.

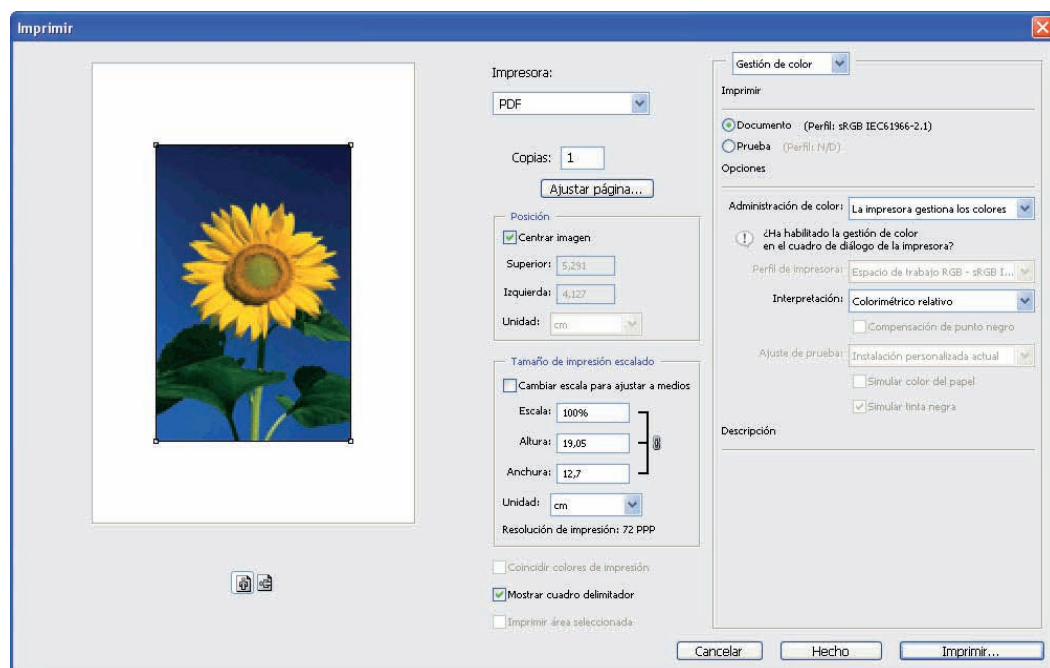


Ilustración 91. Ajustes de impresión en Adobe Photoshop cs3

Para la impresión sobre papel en imprentas industriales se utilizan habitualmente lineaturas de trama de 75 lpi, 133 lpi o 150 lpi (líneas por pulgada, tal como se denomina habitualmente en los dispositivos de impresión), dependiendo de la calidad del detalle que se quiere obtener. Si una imagen está capturada con 75 ppp (puntos o píxeles por pulgada, así se denomina la resolución en monitores y dispositivos de captura) y tiene una resolución de 800 x 600 puntos, podríamos hacer una impresión a 75 lpi de 10,6 x 8 pulgadas (aprox. 26,95 x 20,30 en cm, 1 pulgada = 2,54 cm), es decir, al mismo tamaño del original, sin dificultad alguna, dado que la resolución es óptima. Pero si quisiéramos hacer una ampliación al doble de tamaño, disminuiríamos la resolución de impresión a 47,5 lpi, lo que resultaría insuficiente para el visionado de la copia, a no ser que duplicásemos la distancia de observación hasta los 2,25 m aproximadamente (1,13 es la distancia de observación óptima de una copia a 75 lpi, tal como describimos en epígrafes anteriores), y por debajo de esas cifras el detalle ya se pierde con facilidad y no resultan óptimas para la impresión. De esta manera, si quisiéramos hacer una copia del doble de tamaño que el original y mantener el detalle, sólo tendríamos entonces tal posibilidad si hubiésemos capturado una imagen al doble de resolución, es decir, 1800 x 1200 (2 MB), lo cual podemos conseguir remuestreando la imagen sin degradación apreciable con algoritmos adecuados, de los que Photoshop dispone de algunos. Aun así, 75 lpi puede resultar insuficiente en la mayoría de los casos y el detalle final sería mejorable si imprimiésemos a 133 lpi o 150 lpi, con lo cual necesitaríamos para una copia sin ampliación de calidad, de 150 lpi por ejemplo, igualmente una resolución de captura de 2 MB, con lo cual podríamos imprimir esta fotografía al tamaño aproximado de una revista formato A4. En este caso, con una cámara de 2 MB sería suficiente para ese tamaño A4 con calidad 150 lpi pero, cabe recordar, ese sería el tamaño necesario del CCD o CMOS, ya que el tamaño del archivo habría de ser 3 veces mayor si esa foto fuese en color, es decir unos 6 MB aproximadamente. Capturar con 12 MB de resolución la misma foto para esa revista no mejoraría nada el detalle de la impresión, sólo se notarían diferencias, en todo caso, en relación al espacio colorimétrico y la calidad general de la fotografía, pero no debidas al aumento de resolución, sino a las presumibles mejores prestaciones ópticas del equipo de captura que aumentarían la definición y el detalle percibido.

En todo caso, es fundamental, además de que la resolución del dispositivo de salida y el tamaño de la copia sea el óptimo para esa impresión particular, una adecuada gestión del color, que mejora mucho el aspecto general de la imagen y la fidelidad al original. En el caso de trabajar con empresas de artes gráficas, para determinar los perfiles de color con los que trabajar y el tipo de tintas a utilizar, valores de lineatura de trama y ganancia de punto, lo mejor es ponerse en contacto con ellos para recabar información acerca de las características específicas requeridas por su sistema de impresión y para hacerles llegar el archivo de imagen con la configuración adecuada y, si es posible, pedir la realización de pruebas de imprenta previas para evitar sorpresas una vez realizada la tirada masiva de copias en papel.

Por otro lado, cuando el dispositivo de salida es un archivo que se va a visualizar en un monitor, en un proyector o en una pantalla de televisión, siempre se trabaja con valores de 72 ppp o 96 ppp, para resoluciones de 800 x 600 y 1286 x 1024 respectivamente, en función de las prestaciones que ofrecen las tarjetas gráficas más comunes en los ordenadores y las características de los equipos de visionado en general, incluidos los televisores convencionales o las más avanzadas pantallas TFT-LCD o de plasma. Cuando se ha de comprimir la imagen, por limitaciones en la capacidad de almacenamiento o en la ocupación de ancho de banda en su distribución por redes informáticas, la reducción de datos se realiza comprometiendo lo mínimo posible el detalle. A veces se rebaja la resolución de manera premeditada para evitar copias, como en el caso de bancos de imágenes que sólo permiten el visionado de las fotografías en baja resolución para evitar la piratería y poder comercializar la imagen a tamaño completo y resolución óptima y obtener los ingresos que sustentan este tipo de portales.

Tecnología del sonido

RESUMEN

En este tema se aborda el estudio de los fundamentos científicos del sonido y la radiodifusión y, para ello, se analizan las características principales de las tecnologías utilizadas para la producción de audio en el ámbito profesional y se analizan los aspectos básicos de la radiodifusión sonora.

Para ello, se realiza un recorrido en el que se estudian, en primer lugar, las propiedades físicas de las ondas sonoras y los procesos psicofísicos que intervienen en la escucha para, posteriormente, analizar las características tecnológicas de los equipamientos y tecnologías que intervienen en la cadena de producción sonora, empezando por los equipos de captación, los micrófonos. En los siguientes epígrafes nos acercamos al estudio de los equipamientos de mezcla, procesado y monitorización del sonido, así como a las tecnologías utilizadas en el ámbito de la producción y postproducción musical de carácter profesional. Finalmente, y para concluir, analizamos las tecnologías y equipamientos que hacen posible la radiodifusión sonora.

3.1. SONIDO Y AUDICIÓN

El sonido es un tipo de fenómeno físico de naturaleza mecánica que se produce como consecuencia de los cambios de presión en un medio que provocan la vibración de su estructura molecular en determinadas frecuencias que nuestro órgano auditivo puede percibir. Los fenómenos mecánicos de vibración y desplazamiento forman parte intrínseca de la propia naturaleza de la materia, pero la inmensa mayoría de ellos se producen de manera imperceptible a nuestros sentidos y, por esta razón, sólo podemos considerar sonido cuando estas vibraciones son audibles, es decir, cuando podemos percibirlas.

Tal como hemos visto en el tema anterior para el sentido de la visión, y como es fácil adivinar a poco que se observe igualmente el fenómeno de la audición con cierta atención, la percepción del sonido es diferente para cada especie animal y la audición humana tiene características específicas, fruto del proceso adaptativo al entorno. La variabilidad en la naturaleza en cuanto a la discriminación auditiva de estímulos es muy grande, pero baste mencionar, por ejemplo, las limitaciones que nuestra percepción tiene para permitir anticiparnos a un terremoto con la eficacia que lo hacen otras especies, que sí son capaces de percibir las vibraciones que señalan desastre de tal magnitud, al igual que, por ejemplo, los perros son capaces de oír el sonido de un silbato inaudible para nosotros y acudir a su llamada, debido a la diferente percepción de los estímulos físicos que permiten la audición, las ondas sonoras.

3.1.1. La onda sonora

Para entender cómo se producen los fenómenos ondulatorios debidos a la presión provocada sobre un medio y el consiguiente desplazamiento de la materia de que está formado, podemos imaginar lo que ocurre en un estanque de aguas calmas cuando rompemos su estado de reposo tirando una piedra en él. Lo que ocurre de manera inmediata es que alrededor de la piedra se produce un desplazamiento del agua en todas direcciones en forma de olas sucesivas cuya altura de cresta es proporcional a la magnitud de la perturbación, es decir, a su intensidad. Lo que estamos produciendo, de este modo, es un desplazamiento molecular proporcional a la perturbación en crestas y valles, es decir, en forma de ondas senoidales, que se van sucediendo periódicamente hasta que la energía que provocó la perturbación es absorbida por el medio y el estanque vuelve a estar con las aguas calmadas. De manera similar, podemos imaginar lo que ocurre cuando tomamos el extremo de una cuerda y la agitamos hacia arriba y hacia abajo provocando un desplazamiento regular en forma de onda a lo largo de la cuerda que llega hasta el otro extremo. En ambos casos, estamos ante fenómenos ondulatorios de naturaleza mecánica, es decir, se producen por desplazamiento de partículas materiales con una particular estructura molecular y distribuidas por el medio en una determinada densidad. Estas ondas vibratorias portan energía mecánica debida a la energía cinética que provoca su desplazamiento haciéndolas chocar con mayor o menor energía con las sucesivas moléculas cercanas que conforman el medio, al contrario que las ondas luminosas cuya energía era de carácter electromagnético, es decir, debida a las cargas eléctricas que portan y al campo magnético que se genera alrededor en función de su magnitud. Aunque se trata de energías de diferente naturaleza, tanto en el caso de las ondas mecánicas como de las electromagnéticas, pueden producir procesos de transducción en otras formas de energía al interaccionar con otras moléculas, por ejemplo en forma de calor o, con equipos adecuados, en forma de electricidad, pues tanto la fricción mecánica como la interacción fotoeléctrica a nivel molecular provocan efectos fisicoquímicos cuya naturaleza dependerá de las características de los materiales que intervienen en la interacción.

Las ondas mecánicas, al igual que las electromagnéticas, se pueden caracterizar, tal como vemos a continuación, como ondas senoidales de carácter periódico, y definir por su longitud de onda y por su amplitud. Si retomamos el ejemplo del estanque o la cuerda comentado anteriormente, el valor 0 correspondería al estado de reposo y el valor 1 positivo a la cresta de máxima intensidad, mientras que el 1 negativo al valor máximo de la depresión posterior. Si nos situamos en un punto en el eje transversal de visión, iríamos viendo pasar algo parecido al gráfico, con sucesivas crestas y valles. A partir del período, de cada onda, es decir, del tiempo que tardamos en ver pasar una sola onda, podríamos calcular el número de ondas que pasan en un segundo, y así tendríamos la frecuencia, medida en hercios. En cuanto a la amplitud, es decir, la altura de la cresta debida a la intensidad de la perturbación, sería simétrica en cada cresta y valle de cada onda específica, e iríamos viendo que es menor a medida que se van sucediendo las ondas, es decir, a medida que vamos hacia la derecha del gráfico y se va produciendo la atenuación del fenómeno.

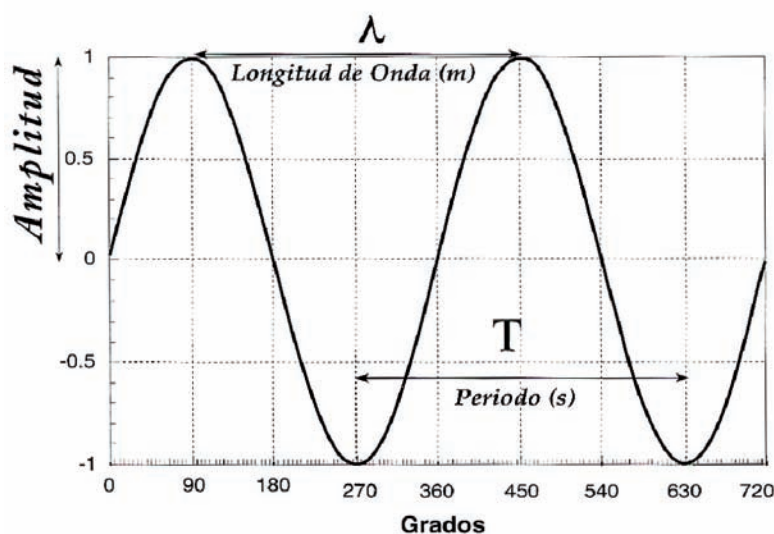


Ilustración 92. Parámetros en onda sonora (Pérez y Zamanillo)

Como podemos observar también en el gráfico, el eje horizontal se subdivide en grados, de manera que cada onda completa comprende un total de 360°. Este modelo de medición se utiliza como referencia para determinar el tipo de interacción que se produce cuando concurren y mezclan las perturbaciones producidas de manera simultánea, es decir, la forma en que interaccionan entre sí las ondas, ya que, raramente, son de la sencillez que muestra el gráfico, y por lo general forman complejas interacciones basadas en la suma, resta o cancelación de la energía que portan, tal como vemos a continuación. Cuando están en fase suman su energía formando una onda de doble amplitud, pero cuando no lo están, es decir, cuando están desplazadas en el eje vertical algunos grados, el resultado es otro. Si dos ondas están desfasadas 180°, es decir, la cresta de una de ellas comienzan en el valle de la otra, ambas se cancelan, al resultar su interacción una suma de energías con resultado 0.

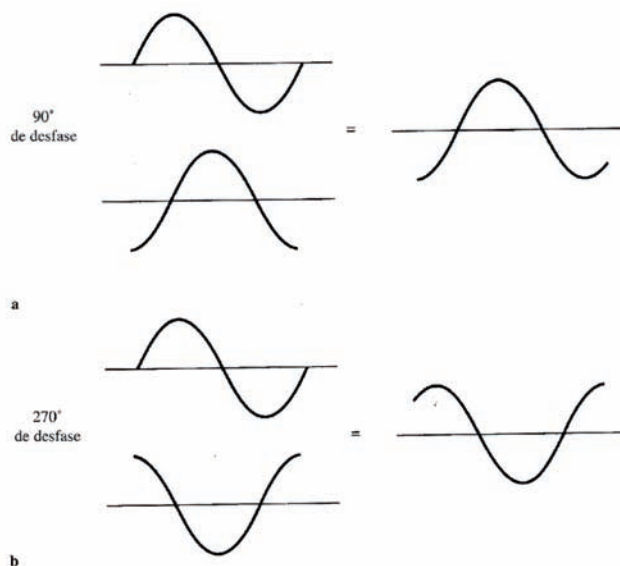


Ilustración 93. Interrelación de ondas (S. R. Alten)

Cuando se produce una oscilación vibratoria, lo habitual es que la energía generada se distribuya en un conjunto complejo de frecuencias e intensidades que gráficamente confirman una señal senoidal compuesta en la que se puede determinar la frecuencia fundamental de vibración y, a partir de ella, el conjunto de frecuencias que forman la señal. Cuando esta onda compleja está compuesta por frecuencias que mantienen cierta regularidad, escuchamos sonidos armónicos, vocales o también musicales en su acepción convencional, y cuando no se da tal circunstancia, percibimos la perturbación como un ruido, en el caso del gráfico d; el resto corresponden al sonido de una nota musical en un piano (a), en un clarinete (b) y en un oboe (c).

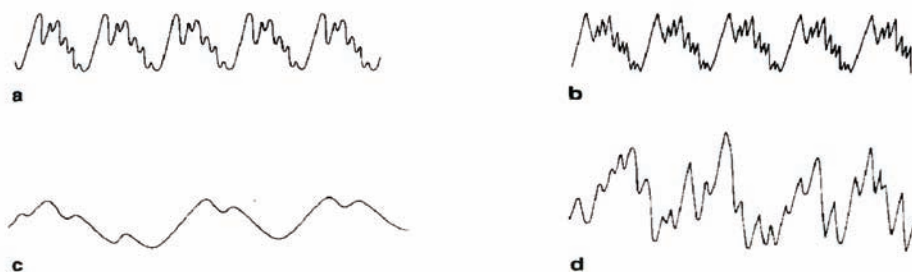


Ilustración 94. Sonidos y ruido

Los sonidos que no son ruidos se pueden descomponer en sus armónicos, que son tonos de frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental que se producen como resultado de la vibración simultánea a esta. Los armónicos se denominan segundo, tercero, etc., en función del número de picos de vibración que tengan respecto a la frecuencia fundamental, tal como vemos a continuación, y que, sumadas, formarían ondas complejas como las correspondientes a las diferentes notas de cada instrumento del gráfico anterior, en el que la frecuencia fundamental, aun siendo la misma, daría como resultado tonos diferentes a cada nota en cada instrumento debido, precisamente, a los armónicos específicos que se generan en cada uno de ellos.

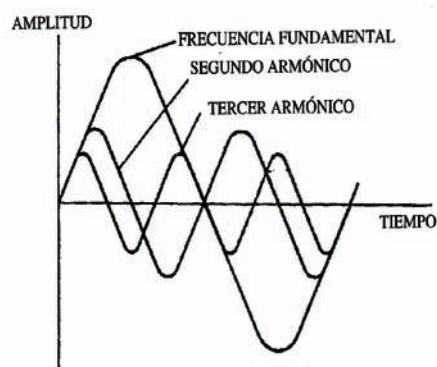


Ilustración 95. Frecuencias de armónicos (S. R. Alten)

Ya hemos adelantado, de este modo, que la frecuencia de vibración está íntimamente relacionada con el tono del sonido, al igual que la amplitud con la intensidad de la energía, es decir, con el volumen del sonido, aspectos que veremos en el siguiente epígrafe con detalle al tratarse de fenómenos psicofísicos, es decir, dependientes tanto de la percepción como de las características físicas del estímulo.

En este sentido, y desde el punto de vista estrictamente físico, las ondas sonoras las podemos caracterizar atendiendo a su longitud de onda, su frecuencia y su amplitud, teniendo presente que difícilmente encontraremos ondas puras, y lo más habitual es que estas sean complejas y estén sujetas a interacciones entre ellas. Las ondas sonoras, además, y como venimos estudiando, se desplazan a lo largo del medio trasladando la perturbación de manera consecutiva por las moléculas que conforman su estructura material hasta que se atenúa del todo la energía que provocó la perturbación, al ser absorbida por el medio. Esto implica que las características estructurales de cada medio serán determinantes en la forma en que se produzca la propagación de la perturbación, es decir, de la onda sonora y, como consecuencia de ello, existan variaciones importantes en lo relativo a la velocidad de propagación y el tiempo que se mantiene la perturbación hasta que se atenúa para cada medio, tal como vemos a continuación.

Medio	Velocidad (m/s)	Velocidad relativa al aire seco a 0°C
Vacío	No se propaga	—
Caucho	54	0,16
Aire seco a 0°C	331	1,00
Aire seco a 20°C	340	1,03
Aire seco a 100°C	390	1,18
Corcho	500	1,51
Agua	1483	4,48
Cobre	3500	10,57
Madera	3850	11,63
Acero	5060	15,29

Ilustración 96. Velocidad de propagación del sonido en distintos medios (Pérez y Zamanillo)

Cada material tiene coeficientes de absorción distintos que también varían en función de cada longitud de onda, o lo que es igual, de cada frecuencia, como vemos en la siguiente tabla, establecida para una velocidad de propagación normalizada de 340 m/s, es decir, un sonido que se desplaza en una atmósfera de aire a temperatura de 20 °C.

Materiales	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz	4,000 Hz
Losetas de 18 mm de fibra acústica mineral						
Con posterior rígido	0,03	0,27	0,83	0,99	0,82	0,71
Suspendidas	0,68	0,67	0,65	0,84	0,87	0,74
Losetas de fibra de vidrio de 25 mm						
Con posterior rígido	0,06	0,25	0,68	0,97	0,99	0,91
Suspendidas	0,69	0,95	0,74	0,98	0,99	0,99
Ladrillos						
Sin esmalte	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Esmaltados	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Alfombra, dura						
En cemento	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
En placas de espuma plástica	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73
Bloque de cemento						
Ordinario, sin recubrimientos	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Pintado, sellado	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08

Ilustración 97. Absorción de distintos materiales a diversas frecuencias (S. R. Alten)

De este modo, como el sonido se desplaza en un medio y, al igual que las ondas electromagnéticas, está sujeto a procesos de reflexión, refracción y absorción al interactuar con otros materiales, cuando en cualquier situación percibimos un sonido, lo que llega hasta nosotros son un conjunto de ondas sonoras que puede llegar a ser de gran complejidad.

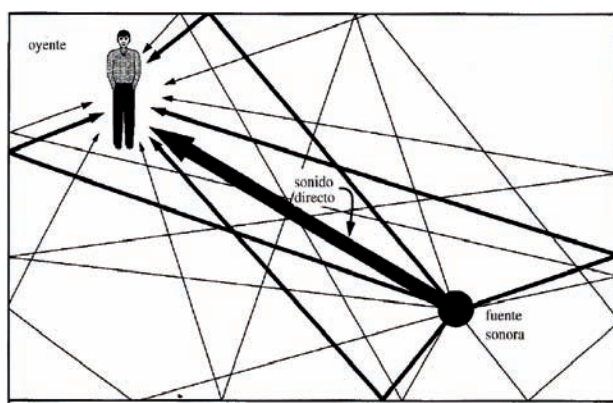


Ilustración 98. Reflexiones de la onda sonora (S. R. Alten)

Otro aspecto a tener siempre en cuenta para entender la forma de propagación de las ondas sonoras es la forma en que se produce su atenuación que, al igual que las ondas electromagnéticas, está sujeta a la ley cuadrada inversa ya explicada, es decir, a medida que aumentamos al doble la distancia, la intensidad disminuye al cuadrado, siempre que estemos hablando de un único frente de ondas que, como explicábamos, suele ser la situación menos común y, por lo general, la forma de propagación de las ondas sonoras está sujeta a las interacciones entre ellas y con el entorno.

Es interesante no perder de vista que la forma y dimensiones del espacio en el que se produce el sonido es determinante para dotarle de características propias y, de este modo, independientemente de que la fuente emisora sea una u otra, el sonido que produzca lo recibiremos de manera distinta en función de la manera en que interactúe con el entorno antes de llegar hasta nosotros. Si, por ejemplo, somos capaces de escuchar la fuente sonora en el momento de producción del sonido, y después, por reflexión, nos vuelve a llegar esa misma onda, si el tiempo que separa a ambas es mayor de 50 ms, percibiremos dos sonidos definidos nitidamente, es decir, escucharemos eco; si, por el contrario, el tiempo que separa la escucha de ambos frentes del mismo sonido es menor a 50 ms, no hablamos de eco si no de *reverberación*, y las diferencias que notaremos en la percepción serán distintas en función del espacio, particularidad que podrá

y deberá ser bien aprovechada para emular las condiciones en que se produce la escucha en función de, por ejemplo, el género musical o, simplemente, para sumergir al oyente a un determinado ambiente sonoro en función del espacio que, tal como vemos a continuación, tienen tiempos de reverberación distintos, que van de los 0,5 ms de la voz hasta los más de 2 ms de una orquesta o un órgano que suena en una iglesia.

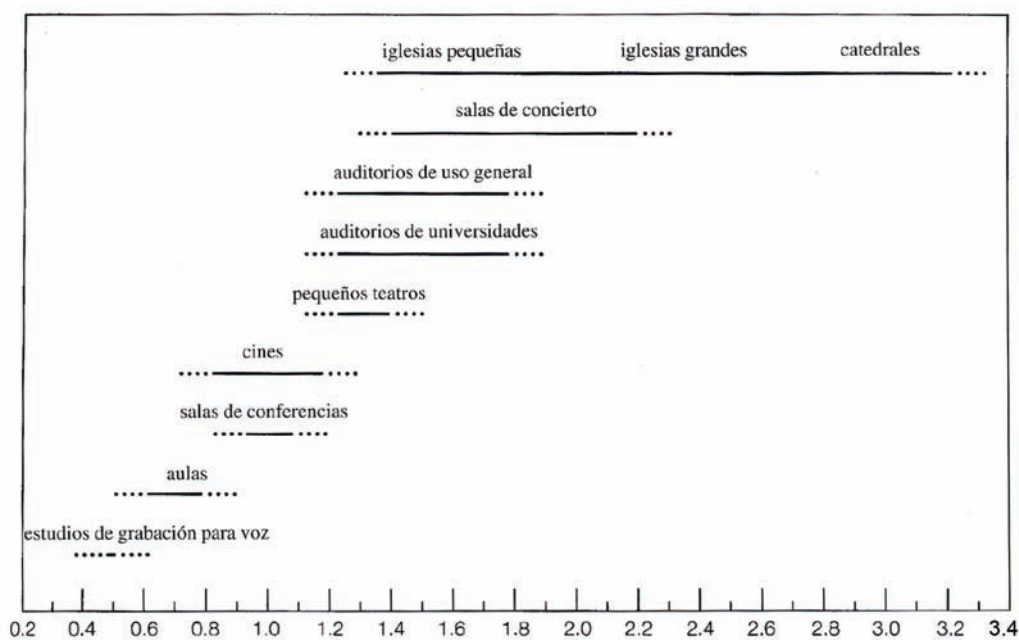
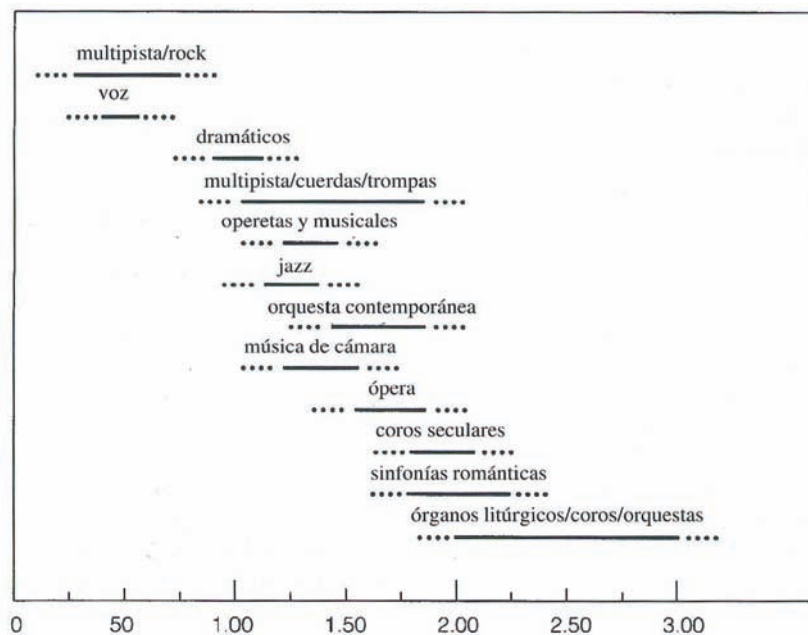


Ilustración 99. Reverberación de distintos espacios (S. R. Alten)

Por tanto, la complejidad de los estímulos físicos que recibirá nuestro órgano sensorial específico para la audición, el oído, tal como veremos a continuación, deberá de ser analizada con precisión para permitir que esas perturbaciones provocadas por los cambios de presión ejercidos sobre el medio material se conviertan en sonido al poder producirse su escucha.

3.1.2. El oído humano. Sonido y escucha

Para poder analizar las ondas de naturaleza mecánica disponemos del órgano auditivo que, como es natural, es distinto al del resto de las especies, tal como ya explicábamos. Nuestra percepción auditiva se realiza de manera específica en nuestra especie, como consecuencia de la particular forma de funcionamiento de nuestros oídos, cuya estructura física vemos a continuación.

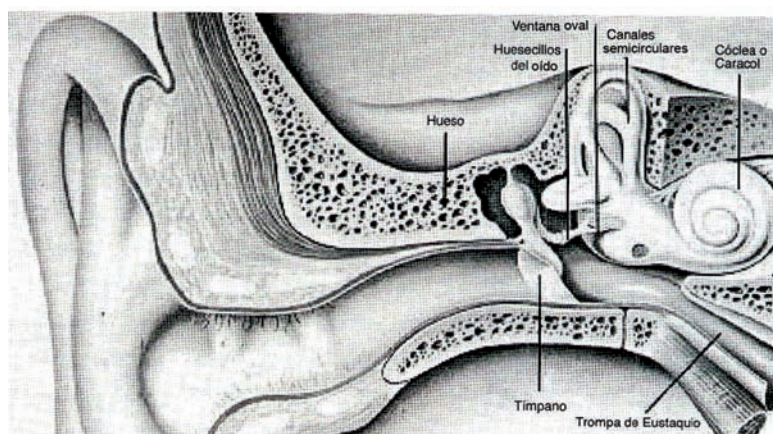


Ilustración 100. Esquema del oído humano (Goldstein)

Como podemos observar, el pabellón auditivo, es decir, las orejas, tiene un diseño específico que permite recoger y direccionar hacia el conducto auditivo las perturbaciones de las moléculas del entorno producidas por las diferencias de presión hasta hacerlas llegar al tímpano, en el oído medio. El tímpano es una membrana elástica que recoge las diferencias de presión y las propaga al interior del oído a través de los huesecillos del martillo y el yunque, hasta reproducir la vibración en las ventanas de la cóclea, ya en el oído interno, donde se procederá a su análisis.

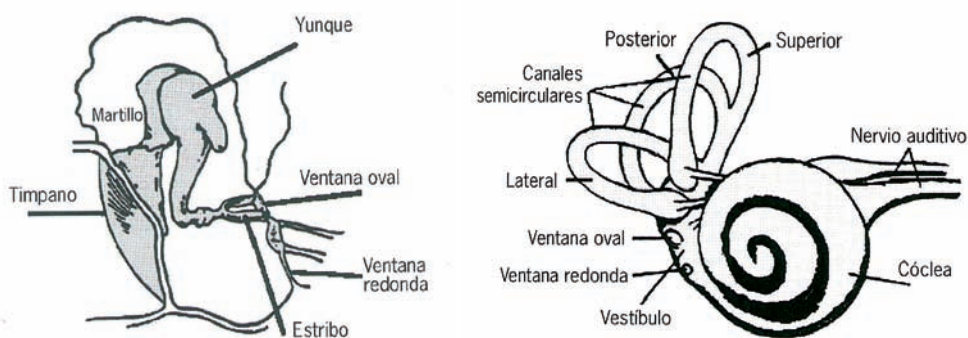


Ilustración 101. Órganos internos de audición (Pérez y Zamanillo)

La estructura de la cóclea, tal como vemos a continuación, está dispuesta de manera que pueda contener un medio líquido, la perilinfa, que recoge las vibraciones producidas por el estribo en la ventana oval y las propaga a través de los canales semicirculares haciéndolas transitar por todo su interior.

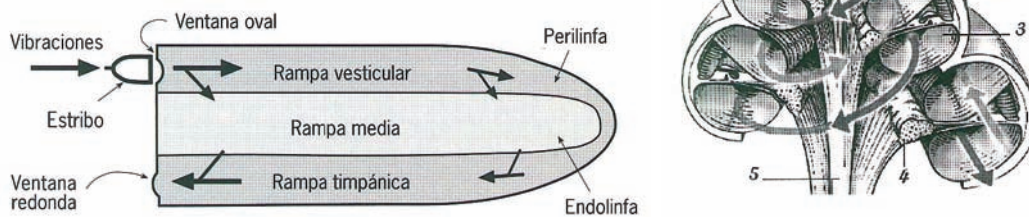


Ilustración 102. Estructura de la cóclea

En el interior de la cóclea o caracol se realiza el análisis de la vibración, convirtiendo la perturbación mecánica en un impulso eléctrico en función de su resonancia (1 a 4) que se transmitirá a través del nervio auditivo (5) hasta el cerebro para su procesamiento. El estímulo físico, se transforma en energía interpretable por el cerebro como resultado del análisis realizado en las distintas zonas del interior de la cóclea adaptadas para reaccionar a cada frecuencia de onda particular gracias a unos minúsculos receptores mecánicos, en forma de pelo, que se contornean y generan impulsos eléctricos proporcionales a la intensidad del estímulo y a la frecuencia con la que se produce.

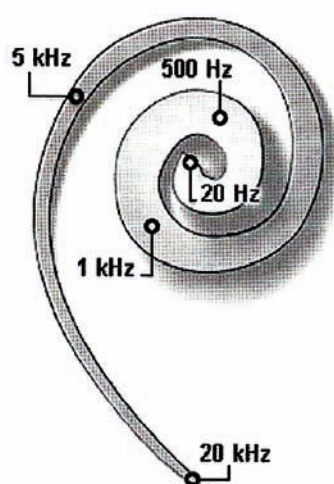


Ilustración 103. Resonancia de la cóclea ante distintas longitudes de onda

De este modo, y en definitiva, en el oído interno se produce la transducción de energía mecánica en energía eléctrica y su transmisión al cerebro, pero, además, se realiza otra función de gran importancia en nuestra cotidianeidad, el control del equilibrio. Que podamos mantener el equilibrio es posible gracias a la nivelación en ambos oídos de la sustancia líquida contenida en el oído interno, la perilinfia, de modo que las variaciones en su nivel relativo permiten establecer el grado de inclinación del cuerpo de manera precisa y adecuar la posición del cuerpo automáticamente sin que tengamos que realizar ningún esfuerzo y prestar atención a ello. Este es un acto que pasa inadvertido a nuestra consciencia, pero cuya importancia resulta evidente cuando se producen lesiones en el oído interno y nos vemos obligados a realizar de manera consciente una operación tan cotidiana y tan automatizada cuyo mal funcionamiento puede convertir el caminar en un desafío constante que necesita corrección a cada paso para poder mantener el equilibrio y no caer al suelo.

En el oído se pueden producir también otro tipo de lesiones que pueden provocar la pérdida de audición global o afectar a determinadas frecuencias, aunque el propio envejecimiento del órgano ya provoca en mayor o menor medida cierta disminución en la capacidad auditiva. En el caso de lesiones, pueden estar localizadas en el interior del oído en algunas ocasiones, como consecuencia, por ejemplo, de una infección no tratada de manera adecuada, o, comúnmente, afectar a la elasticidad del tímpano provocando pérdidas leves de audición, un problema inevitable con la edad, o más severas, en el caso de rotura por exposición a ondas sonoras de gran intensidad.

Con nuestros oídos, en condiciones óptimas, podemos escuchar un rango de frecuencias sonoras que está comprendido entre los 20 Hz y 20 KHz, es decir, ondas sonoras que se producen entre 20 y 20.000 veces por segundo, o lo que es lo mismo en el caso de que se propaguen a través del aire a una velocidad de 340 m/s, diferencias de presión en forma de ondas de longitud comprendida entre los 17 m y los 17 mm. Es decir, cualquier perturbación sobre un medio físico que se produzca en ese intervalo de frecuencias es susceptible de ser registrada por nuestros oídos, que abarcan un espacio sonoro tal como el que vemos a continuación.

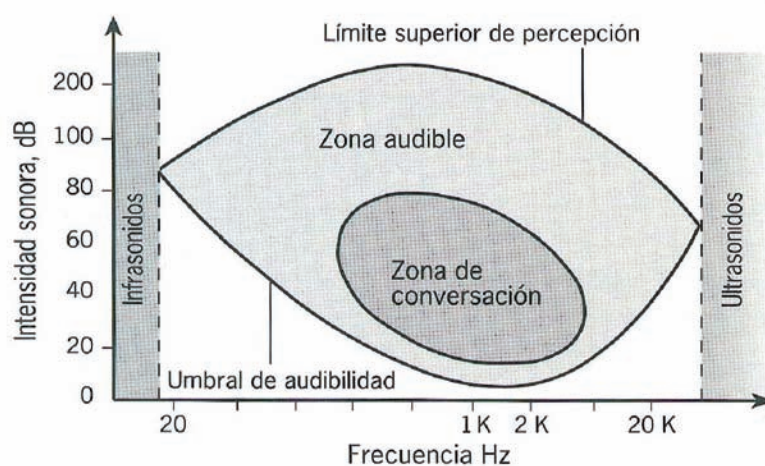


Ilustración 104. Espacio auditivo (Pérez y Zamanillo)

Como se puede observar, la percepción sonora es diferente para cada una de las frecuencias audibles, de manera que el oído no ofrece una respuesta lineal en función de la intensidad de la onda en cada frecuencia, es decir, oímos mejor las frecuencias medias que los graves y los agudos, particularidad que se puede explicar en relación a los procesos adaptativos de audición a lo largo de la evolución. La voz humana, y por tanto la comunicación verbal, se produce en el rango de frecuencias que oscila, aproximadamente, entre los 300 Hz y los 5 KHz, es decir, las frecuencias medias del espectro audible, y no es extraño que estemos mejor adaptados evolutivamente a ellas, ya que los procesos comunicativos, no sólo en los humanos sino en cualquier otra especie, son el pilar básico para la interacción grupal y el desarrollo socioeconómico y cultural.

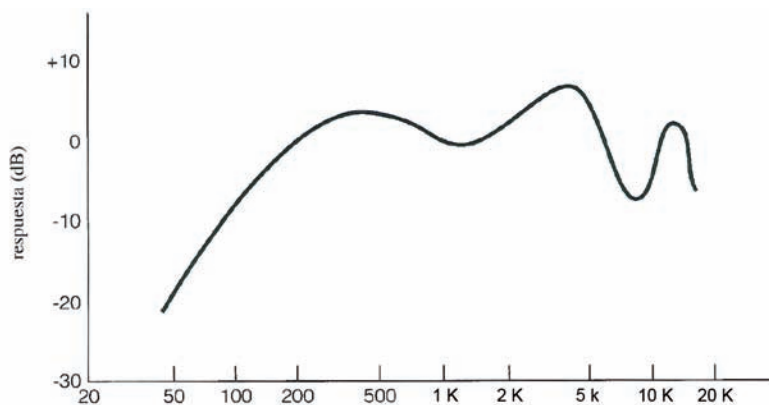


Ilustración 105. Escucha humana (S. R. Alten)

Para que cualquier sonido sea percibido por nuestro órgano auditivo, en todo caso, debe tener una intensidad mínima, cuyo valor se expresa en decibelios (dB), como vemos en los gráficos anteriores, y, como es fácil adivinar, si ésta es demasiado grande puede provocar lesiones de gravedad que pueden afectar temporal o definitivamente a la audición. El dB se establece a partir del umbral mínimo de audibilidad que tenemos los humanos, de manera que $1 \text{ dB (SPL)} = 20 \log P/P_{\text{ref}}$, donde $P = \text{N/m}^2$ y $P_{\text{ref}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$. Es decir, el umbral mínimo de audición es P_{ref} , expresado en Newton por m^2 , es decir, se necesita ejercer una presión correspondiente a $0,00002 \text{ N/m}^2$ para que el tímpano pueda recogerla y, a partir de ello, $20 \log$ de la relación entre la presión con el umbral mínimo dará como resultado un valor en dB que indicará, de manera logarítmica, al igual que el resto de estímulos que percibimos (recuérdese la ley Weber-Fechner explicada en el tema anterior para explicar la variación del brillo), los aumentos de intensidad sonora. Como vemos a continuación, los límites máximos de intensidad admisibles por nuestro órgano auditivo se encuentran alrededor de los 130 - 140 dB, a partir los cuales se pueden producir daños irreversibles en el oído, aunque sus efectos serán diferentes en función de las frecuencias sonoras, siendo menos admisibles los aumentos de intensidad en las altas y, sobre todo, en las bajas frecuencias.

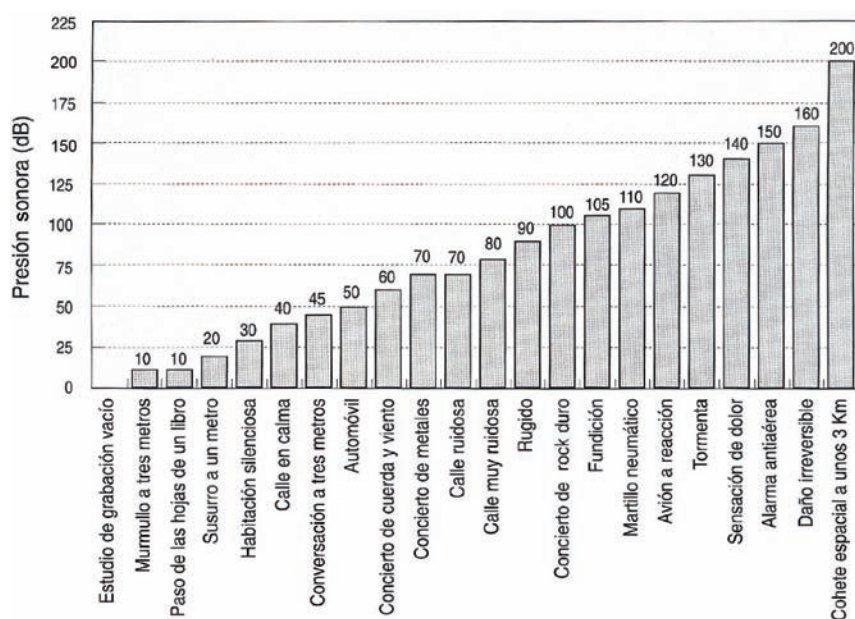


Ilustración 106. Intensidad sonora de distintas fuentes (S. R. Alten)

En todo caso, la causa más común de pérdida de audición es debida al inevitable envejecimiento del oído que se produce con la edad, aunque también existen diferencias importantes entre sexo, tal como muestra el gráfico que vemos a continuación.

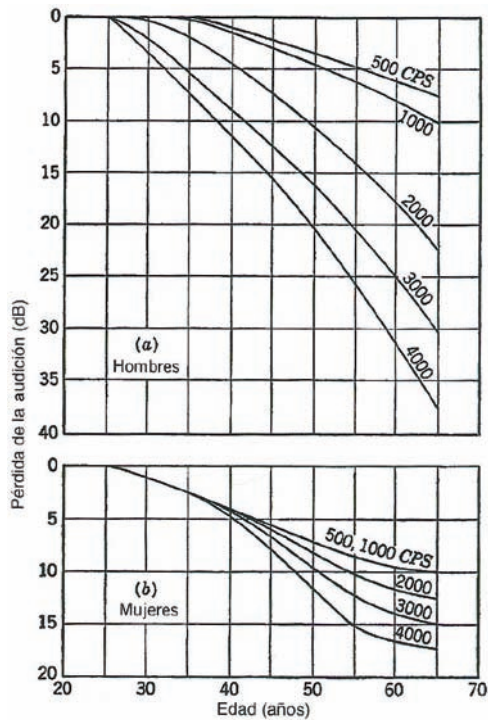


Ilustración 107. Diferencias auditivas de género y edad (Pérez y Zamanillo)

Para finalizar, y a efectos de utilizar de manera adecuada la terminología de uso común en el ámbito de la producción de sonido, utilizaremos los decibelios (dB) para determinar la intensidad de la señal, es decir, el volumen, y los hercios (Hz), para hablar de la frecuencia de la onda sonora, es decir, de su tono. A efectos musicales, el rango de frecuencias audibles se divide en octavas, de manera que cada grupo de notas en sucesivas octavas mantiene una relación de 2 a 1 con la anterior, lo cual, a efectos prácticos, permite denominar las mismas notas con tonos más graves o más agudos en función de la octava en que se produzcan.

1ª octava	16 - 32 (Hz)	7ª octava	1000 - 2000 (Hz)
2ª octava	32 - 64 (Hz)	8ª octava	2000 - 4000 (Hz)
3ª octava	64 - 125 (Hz)	9ª octava	4000 - 8000 (Hz)
4ª octava	125 - 250 (Hz)	10ª octava	8000 - 16000 (Hz)
5ª octava	250 - 500 (Hz)	11ª octava	16000 - 32000 (Hz)
6ª octava	500 - 1000 (Hz)		

Ilustración 108. Distribución del espectro sonoro en octavas (S. R. Alten)

La tercera variable con que se caracteriza cualquier sonido, además del volumen y el tono, es el timbre, que, como ya dijimos, es el resultado de la mezcla compleja de armónicos en cada señal, tal como vimos, lo cual nos permite diferenciar el sonido que producen distintos instrumentos sonoros, incluida la voz entre ellos. Además, es también interesante entender la forma en que

se produce un sonido cualquiera, es decir su envolvente, o lo que es lo mismo, su periodo de ataque, extinción, sostenido y caída, tal como se muestra en el gráfico, para establecer las diferentes cualidades de cada uno de ellos.

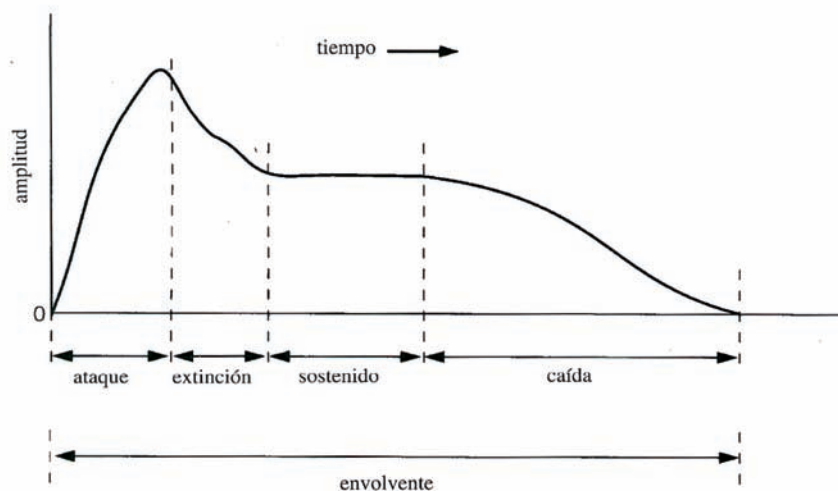


Ilustración 109. Envolvente sonora (S. R. Alten)

Con todo ello, y en definitiva, podemos establecer las características básicas de las ondas sonoras y entender los procesos perceptivos de audición, lo cual nos permite adivinar, por ejemplo, que de igual manera que ocurría con la visión particular que teníamos de las diversas longitudes de onda y la arbitraria composición de estímulos que nuestra percepción realizaba para el color blanco y el necesario equilibrio de color que debíamos realizar en los equipamientos para adecuarla a ella, cuando percibimos estímulos sonoros, al no hacerlo de forma lineal, también tendremos, de algún modo, que equilibrar, o ecualizar, las diferentes intensidades para cada frecuencia para que el sonido global tenga un aspecto adecuado a nuestra percepción. Igualmente, podemos imaginar que la envolvente de un sonido, por ejemplo, de un instrumento de percusión es completamente distinta a la de, por ejemplo, una flauta, y su período de ataque es radicalmente diferente, lo cual obligará a diseñar instrumentos para su captación de características estructurales específicas para su registro. Para el primero será necesario un micrófono que funcione ante estímulos de gran intensidad y muy bruscos en su inicio, como son los golpes secos en el tambor, por ejemplo, y para el segundo no será necesaria esa reacción extrema y será más adecuado un micrófono que mantenga su respuesta de manera estable ante estímulos cuyo período de ataque es mucho mayor y tardan mucho más en extinguirse.

Una última característica que conviene resaltar es la derivada, al igual que para nuestros órganos visuales, de la particular disposición en un par simétrico de nuestro órgano auditivo, de manera que a cada lado de la cabeza disponemos de un pabellón auditivo, unas orejas, y un oído que envía estímulos de manera autónoma al cerebro, lugar en el que se interpreta la mezcla de las señales procedentes de cada uno de ellos, dando lugar a la percepción completa del estímulo sonoro. La lógica diferencia en cuanto a tiempo e intensidad del estímulo que llega a cada oído nos permite localizarlo espacialmente y, con ello, al igual que las variaciones ópticas permitían percibir la profundidad espacial en la visión y hablábamos de visión estereoscópica, nuestra audición se realiza de manera estereofónica, característica esta mucho más fácil de imitar en los equipos creados para la audición que la estereoscopia en los equipos de visionado que, aunque ha tenido ciertos desarrollos comerciales, no se ha impuesto popularmente en los equipos domésticos con tal rotundidad como la estereofonía, u otros sistemas de localización espacial del sonido que estudiaremos más adelante.

3.2. EQUIPOS DE PRODUCCIÓN DE SONIDO

Aunque existen multitud de artefactos e instrumentos con los que podemos generar sonido y música, en el ámbito de la producción sonora es habitual que sea necesario transformar la energía mecánica que se produce como resultado de la presión ejercida sobre el medio en energía eléctrica para poder capturarla, manipularla, registrarla y reproducirla con facilidad y trascender, de este modo, las limitaciones espaciotemporales que impone nuestra naturaleza humana. Es decir, el uso de nuestros aparatos fonadores, la voz, y de cualquier artificio que podamos inventar para producir sonido, está limitado a que la escucha se produzca en el momento de la producción del sonido y se circunscriba a un tiempo y un espacio específico, esto es, más allá de la inmediatez no sería posible escuchar sonidos que se generaron en otro momento o lugar.

Esta conversión se realiza utilizando transductores de energía para la captación, los micrófonos, que, como veremos, convierten las diferencias de presión sonora en diferencias de voltaje, y para la monitorización, los altavoces, que realizan la operación inversa, es decir, convierten la energía eléctrica en diferencias de presión sonora. Esta conversión se realiza de manera analógica, es decir, si comparamos la curva senoidal de la onda sonora y de la onda eléctrica ambas son similares, pues recogen en su amplitud a lo largo del eje vertical el valor de intensidad sonora o eléctrica de manera proporcional a como se produjo.

En el ámbito profesional de producción sonora, con equipos que funcionan con energía eléctrica, los decibelios relativos a la presión sonora que explicábamos (dB SPL-Sound Pressure Level), se han de adecuar a un nuevo valor de referencia, y no al umbral mínimo de audibilidad como aquellos; por ello, se utilizan otras magnitudes, entre las que se encuentran los dBV, en los que el nivel de referencia corresponde a 1 voltio, y los dBu o dBv, en los que el valor de referencia son 0,775 voltios, siendo la distinta denominación elegida para el entorno europeo y norteamericano, respectivamente. Cuando se trata de calcular en valor en dB de diferencias de potencia eléctrica, se utiliza la fórmula $\text{dB} = 10 \log (P_1/P_2)$, es decir, entre una potencia de 1W, un watio, y una de 2 W, dos watios, hay una diferencia de 3 dB; cuando se han de comparar dos voltajes de, por ejemplo, 1 y 2 voltios, al estar la potencia relacionada con el cuadrado del voltaje según la ley de Ohm $W = V^2/R$, esto es, potencia = voltaje al cuadrado partido por resistencia, el dB será $\text{dB} = 20 \log (V_1/V_2)$ entre 1 voltio y 2 voltios habrá una diferencia de 6 dB. Es decir, cada vez que doblemos la potencia eléctrica aumentaremos en 3 dB la señal, y cada vez que doblemos el voltaje, este aumento será de 6 dB, razón por la cual en los equipos de sonido veremos de manera habitual que los reguladores de volumen están calibrados en pasos de 3 o 6 dB, lo que supondrá cada vez el aumento al doble de intensidad sonora. Si ese aumento lo dibujásemos sobre el gráfico que representa la forma de onda, veríamos que su amplitud, su altura en el eje vertical, aumentaría, aunque lo común es utilizar para visualizar el valor de la señal equipos específicos de medida de la señal eléctrica que se denominan *osciloscopios*, cuya función no es otra que representar electrónicamente de manera visual la forma de onda que presenta el sonido en el ámbito temporal en el que se produce y permitir medir sus valores eléctricos.

3.2.1. La cadena de producción sonora

Los primeros equipamientos para la producción de sonido que se diseñaron, a finales del siglo XIX, eran completamente mecánicos y consistían en sistemas de grabación y reproducción basados en el trazado de una aguja por la superficie de una lámina de hojalata sobre la que realizaba surcos de distinta profundidad, en el caso del fonógrafo, inventado por Edison, o producía desviaciones

laterales en los surcos que trazaba la aguja sobre un disco de cera, tal como hacía el gramófono, desarrollado por Berliner. Para reproducir el sonido se situaba la aguja encima del disco de hojalata o cera y se hacía girar con una determinada velocidad, la misma que la de grabación, lo cual generaba oscilaciones en la aguja que se transmitían a una membrana situada en una bocina que al vibrar movía el aire del interior y producía sonidos en un rango de frecuencias que, aunque limitado, permitía la audición. Entre las dos tecnologías se impuso el gramófono, debido a que, al ser de cera, se podían hacer copias a gran escala sin dificultad y de manera sencilla, pudiendo producirse discos cuya duración máxima en la época era de 4 minutos.

Ya a partir de los años 20 del siglo pasado se empezó a utilizar la grabación eléctrica, que aprovechaba las propiedades de los transductores electromagnéticos para, situando una membrana móvil conectada a un solenoide en el interior de un campo electromagnético de un imán, producir una corriente eléctrica proporcional al desplazamiento de esa membrana y, de este modo, poder desplazar la aguja de grabación sobre el disco y producir un surco proporcional a la intensidad de la presión producida en la membrana, ya convertida en diferencia de voltaje, con un funcionamiento similar al que veremos en el epígrafe siguiente cuando estudiemos los micrófonos de bobina móvil, basados en este principio físico. Además de micrófonos eléctricos en cuyo extremo había sistemas de grabación en soportes rudimentarios, también se idearon altavoces que funcionaban con el mismo sistema, aunque de manera inversa, y, de este modo, se pudo llevar la señal eléctrica más allá del lugar donde estaba la fuente, conectando mediante un cable en un extremo un micrófono y en el otro, que podía ser en otra habitación por ejemplo, un altavoz. La dificultad del sistema residía, además de en los problemas de construcción de los equipos de microfonía y monitorización inherentes a una tecnología tan incipiente para la época, en que la señal eléctrica se atenuaba sobremanera en función de la distancia, debido a la resistencia que ofrecen los cables, que depende, como en cualquier material conductor, de su estructura molecular y de su sección (siendo mayor la resistencia a medida que disminuye la sección, como si del estrechamiento de una tubería se tratara). Fue por ello que se comenzaron a desarrollar equipos intermedios de amplificación eléctrica que permitiesen transportar la señal sin excesiva degradación.

Más adelante, alrededor de los años 50 y principios de los 60 del siglo pasado, se comenzaron a investigar y desarrollar nuevos sistemas de grabación en cinta magnética y utilizando discos de vinilo, y se comenzaron a construir equipos de mezcla y tratamiento de la señal tecnológicamente mucho más precisos, que ofrecían posibilidades de trabajo multipista, con lo cual se dio un impulso enorme a la industria de grabación musical, que se producía de manera simultánea a la popularización y renovación musical que imponían las nuevas corrientes culturales y sociales a mediados de la década de 1960, y se desarrolló sobremanera la industria del entretenimiento atendiendo a la cadena de producción que vemos a continuación.

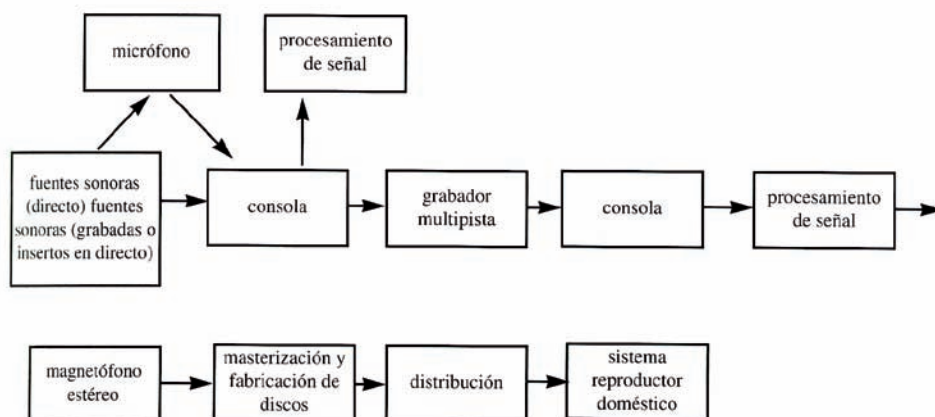


Ilustración 110. Esquema del sistema de producción y distribución de audio (S. R. Alten)

En la actualidad, se ha impuesto con fuerza la tecnología digital, al igual que en el resto de áreas de producción audiovisual, y se ha transformado la cadena de grabación y distribución sonora clásica, sustituyendo muchos de los equipamientos utilizados para el tratamiento de sonido por equipos electrónicos digitales o por programas que operan sobre potentes plataformas informáticas, siendo cada vez más habituales los estudios virtuales que sólo mantienen en los extremos de entrada/salida del sistema los equipos de microfonía y de monitorización que, de manera indefectible, han de hacer el papel de transductores analógicos de energía mecánica en eléctrica, y viceversa, independientemente de que esta energía eléctrica se digitalice, tal como ocurre en cualquier otro proceso de digitalización.

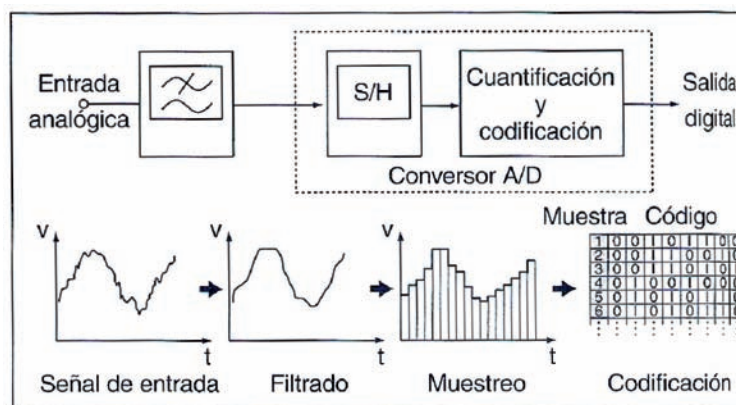


Ilustración 111. Conversión analógica/digital (E. Moreno)

En definitiva, las tecnologías con que funcionan los equipos de producción sonora que vamos a ver a continuación están basadas en la electrónica, y, al igual que ha ocurrido con los procesos fotográficos clásicos, cada vez es más frecuente que, siempre que sea posible, encontremos programas informáticos que emulen su funcionamiento. Este imparable proceso de digitalización es ya muy patente en equipos de mezcla y tratamiento de la señal que, en su mayoría, trabajan ya con señal digital, aunque su operación no se realice en muchas ocasiones desde la pantalla del ordenador y se manipulen los parámetros de la señal con equipamientos y controles manuales de aspecto convencional, aunque internamente sean totalmente digitales.

3.2.2. Captación del sonido. Microfonía

Los equipamientos que se sitúan en el inicio de la cadena de producción sonora son los micrófonos que, de manera sencilla, podemos definir como transductores acústico-eléctricos, es decir, equipos cuya misión es convertir las ondas sonoras en impulsos eléctricos análogos. Existen varios tipos de micrófonos según la forma en que realizan esta conversión, entre los que encontramos aquellos que utilizan el movimiento de una bobina móvil en el interior de un campo magnético, la variación de la capacitancia de un condensador, o utilizan una placa cargada eléctricamente para producir diferencias de voltaje en función de la señal sonora.

El primero de ellos, llamado *dinámico* o *de bobina móvil*, está basado en la diferencia de voltaje que se produce debido al desplazamiento de un conductor eléctrico en el interior de un campo magnético provocado por el movimiento de una membrana que registra las diferencias de presión desplazando conjuntamente la bobina conductora. Tal como vemos a continuación, el movimiento del diafragma, la membrana, al que va sujeto la bobina, provoca el desplazamiento en el interior del campo magnético y, con ello, se genera una corriente eléctrica que es conducida hacia la salida del micrófono.

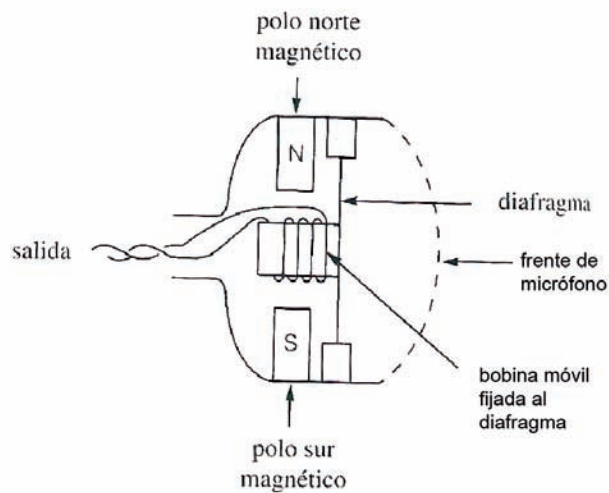


Ilustración 112. Micrófono de bobina móvil (S. R. Alten)

Los micrófonos de condensador, por su parte, funcionan con un principio distinto, de modo que se monta una placa conductora fija separada por un espacio con una membrana móvil de material conductor que, al moverse sobre esta, cambia la capacitancia, es decir, la carga eléctrica del condensador, de manera proporcional al movimiento, al estrechamiento, que se ha producido entre la placa conductora y la membrana, tal como vemos a continuación, para lo cual se necesita alimentar constantemente el condensador mientras el micrófono está operativo, alimentación denominada técnicamente *phantom*, y que debemos activar cuando conectamos a los equipos de audio micrófonos de este tipo.

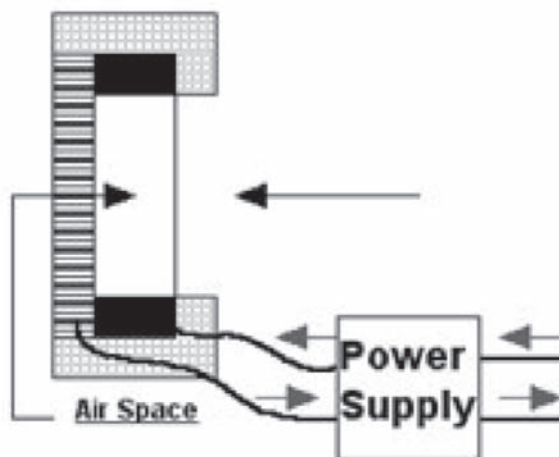


Ilustración 113. Micrófono de condensador

El tercero de los tipos de micrófonos más habituales en el ámbito de la producción profesional de sonido es el denominado *electret*, utilizado en muchas ocasiones por su ligereza y reducido tamaño como micrófono de corbata, y que funciona con el mismo principio que el de condensador, con la diferencia de que no necesita alimentación, puesto que ya está polarizado permanentemente en la denominada placa *electret*, la que debe su nombre.

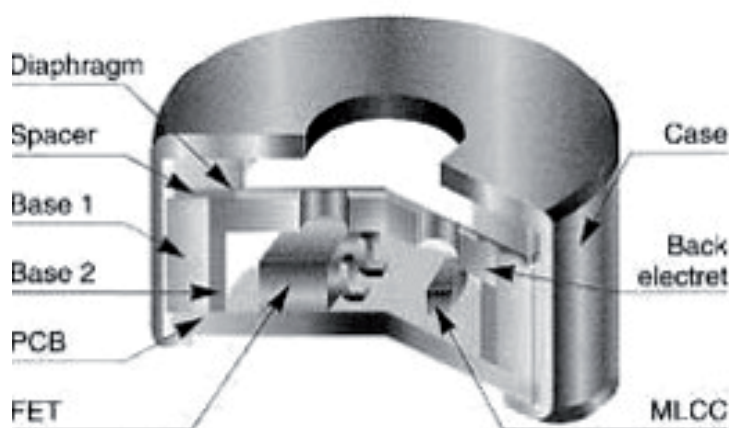


Ilustración 114. Micrófono electret

La forma de construcción de los micrófonos y la tecnología de captación que utilizan influye sobremanera en su fidelidad para el registro del sonido. En general, los micrófonos de condensador con alimentación externa suelen tener una respuesta más lineal en todo el rango de frecuencias y mayor sensibilidad ante sonidos débiles y no abruptos, al contrario que los micrófonos dinámicos, que responden mejor ante sonidos contundentes con períodos de ataque y bruscas alteraciones dinámicas de volumen resultantes de importantes variaciones en la presión sonora que deben soportar. No obstante, y como es fácil imaginar, con los micrófonos ocurre exactamente igual que con el resto de equipos de captación de estímulos, en este caso sonidos, y se producen variaciones intrínsecas en el registro en función de las características estructurales y los materiales de que están contruidos, es decir, dos micrófonos de bobina móvil, por ejemplo, que tengan membranas cuya elasticidad sea diferente, no captarán de igual manera el sonido y existirán variaciones de respuesta e intensidad en algunas frecuencias que los harán diferentes, a pesar de utilizar los mismos principios tecnológicos en su concepción.

En los micrófonos de bobina móvil, muy utilizados para el registro vocal en conciertos directos, se produce una distorsión de graves, conocida como *efecto de proximidad*, que suele ser muy utilizada para dar más profundidad y mayor presencia vocal a la interpretación, y que sirve bien de ejemplo de la particular y característica respuesta que ofrecen este tipo de micrófonos debido a su construcción y a la tecnología que emplean.

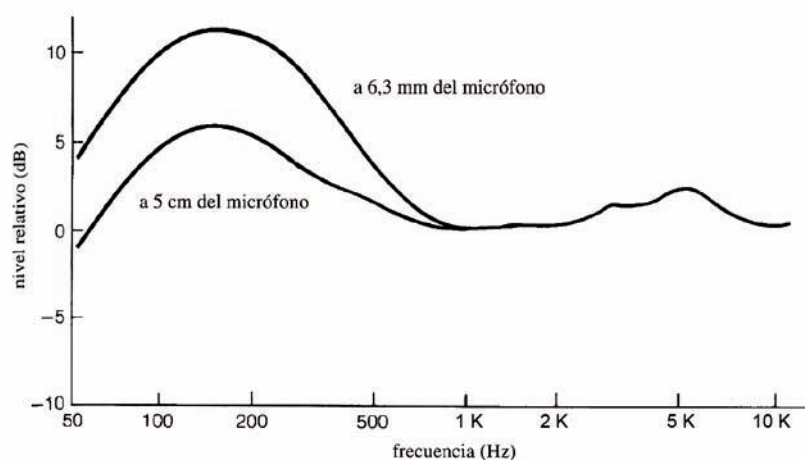


Ilustración 115. Efecto de proximidad (S. R. Alten)

Además de todo ello, cada micrófono posee un diagrama propio de captación, llamado *diagrama polar*, que establece sus límites operativos de captación, tal como vemos a continuación, lo cual supone, junto a las razones comentadas, que el mercado esté inundado de multitud de modelos de micrófonos de características muy diversas y cuyo uso depende de la experiencia aplicada y los objetivos expresivos buscados en cada producción sonora particular.

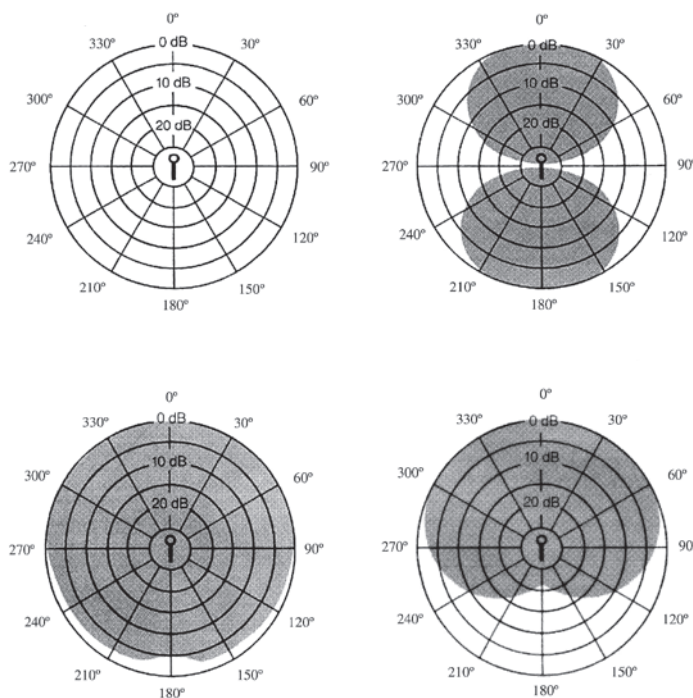


Ilustración 116. Diagramas polares de los micrófonos (S. R. Alten)

Además de los micrófonos convencionales, existen algunos otros para usos específicos, por ejemplo los de cañón, que son superdireccionales y se utilizan mucho para registrar el sonido directo, por ejemplo, en grabaciones de escenas de grupo para producciones audiovisuales; hay otros llamados *parabólicos*, que permiten el registro del sonido desde la distancia y son muy usados, entre otras aplicaciones menos lícitas, para la escucha y el estudio zoológico; hay algunos otros de formas y aplicaciones muy diversas, por ejemplo para recoger el pateo de la pelota en un partido de fútbol o la respiración del piloto de *rally*, aplicaciones que requieren un modelo de micrófonos muy específicos; o algunos otros que sólo se activan cuando detectan un sonido a registrar, como por ejemplo los utilizados en algunas emisoras radiofónicas para locución de programas.

Un tipo especial de micrófonos en cuanto a su forma de funcionamiento son los llamados *inalámbricos* que, como su nombre indica, no utilizan cables para hacer llegar la señal hasta los dispositivos de amplificación y mezcla de sonido subsiguientes en la cadena de producción sonora. Se trata de micrófonos normales, de cualquiera de las características descritas más arriba, que incorporan un transmisor de frecuencia modulada (FM) dentro de la propia carcasa o en una unidad independiente, de modo que, por medio de un modulador y a través de una antena, transmiten la señal hasta un receptor que luego la inserta directamente en el equipo a través de un cable de línea convencional. Un tipo particular de receptores son los denominados *diversity*, debido a que utilizan para la recepción dos antenas que evalúan el nivel de señal que llega a cada una de ellas y seleccionan la de mejor calidad, lo cual evita las limitaciones de recepción que se puedan producir.

A los micrófonos se les pueden incorporar diversos accesorios, como antivientos, cuando se trabaja en exteriores, o paneles *antipop*, cuando se graba en estudio y se quiere evitar la distorsión sonora que provocan las *p* y las *b* al ser pronunciadas en la mayoría de los micrófonos, como también se pueden utilizar diversos soportes para la sujeción de sobremesa, pie o pared, o pértigas telescópicas para su uso y manipulación manual para el acercamiento a la fuente sonora a registrar.

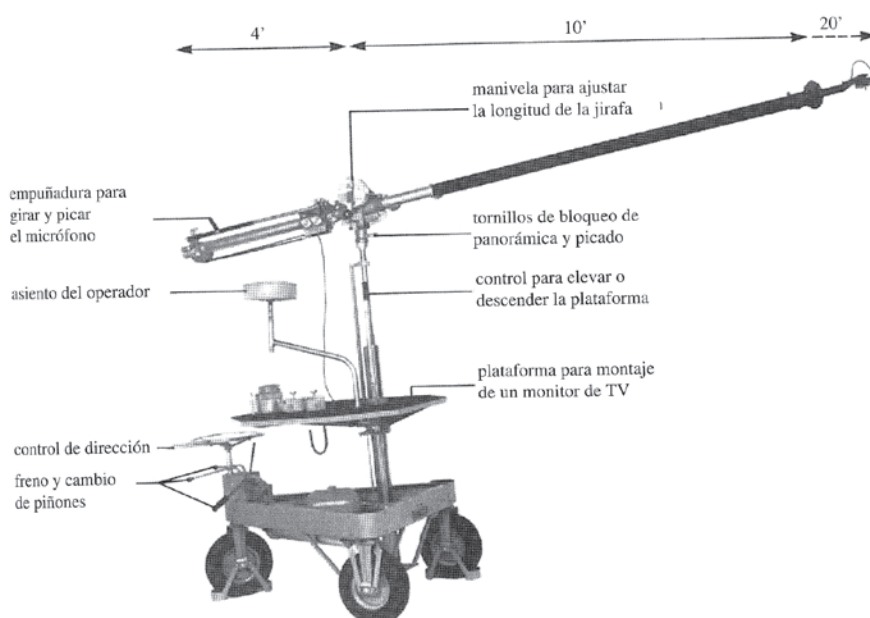


Ilustración 117. Soporte accesorio móvil para microfonía

También se pueden encontrar en el mercado micrófonos estéreo, es decir, que utilizan dos señales para realizar la captura del sonido, una para el canal izquierdo y otra para el derecho, aunque no suelen ser muy usuales, ya que los efectos de estéreo se realizan normalmente utilizando técnicas de direccionamiento de la señal monofónica a cada uno de los canales que conforman la señal estereofónica, y que explicaremos más adelante junto a otros sistemas de localización espacial del sonido.

Una vez realizada la transducción mecánico-eléctrica y disponemos de una señal de intensidad variable análoga al sonido captado, debemos proceder a su tratamiento para adecuarla según nuestros intereses y las características que queramos imprimir a la señal original para su reproducción a la salida del sistema de producción sonora.

3.2.3. Mezcla y procesado del sonido

En primer lugar, hemos de tener presentes que la captación profesional de un espacio sonoro en muy raras ocasiones se realiza utilizando una sola fuente de registro, y lo habitual es distribuir de la manera más eficiente un determinado número de micrófonos, de características y respuesta adecuada al tipo de fuentes a registrar y al sistema de producción sonora que estamos utilizando, que generarán señales de audio que deberemos tratar individualmente y que, luego, agruparemos según nuestros intereses hasta realizar la mezcla final.

Esta operación se realiza desde la consola de mezclas, cuyo funcionamiento y concepción es independiente de que el equipo realice la conversión analógico-digital en la entrada de cada señal o funcione en modo analógico, en la cual se recoge individualmente cada una de las señales procedentes de las fuentes de captación utilizadas, que pueden estar siendo capturas en ese instante en directo con micrófonos o ya pregrabadas anteriormente, o incluso elaboradas con generadores electrónicos de señales de audio como, por ejemplo, sintetizadores. Tal como podemos ver a continuación, una mesa de mezcla no es más que un dispositivo de entrada y salida de señales cuyas prestaciones en el tratamiento agrupado o individual de cada una de ellas pueden variar en función de los equipos, aunque, cuanto menos, todos los mezcladores de audio permiten unas operaciones básicas que son necesarias para adecuar mínimamente las características de la señal de entrada.

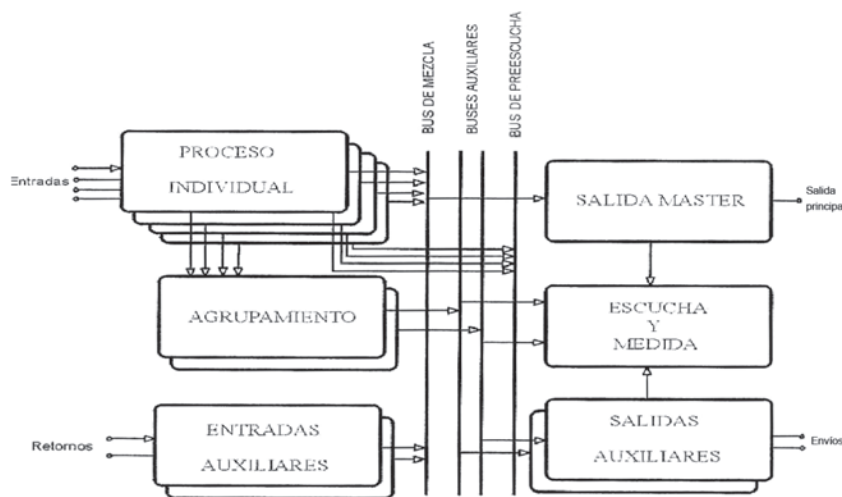


Ilustración 118. Esquema del proceso de la mesa de mezclas (F. Molero)

Tal como vemos, cada entrada individual puede ser procesada de manera autónoma o agrupada junto a otras y, además, la consola puede recibir entradas auxiliares y disponer señales por envíos de salidas auxiliares que después pueden retornar de nuevo a la mesa una vez hayan sido tratadas en otros equipamientos. Cada una de las señales se puede monitorizar, escuchar, y, finalmente, conformar con todas ellas la mezcla elegida en una única salida general, denominada *master*, cuyos resultados también se monitorizarán y controlarán globalmente para, en última instancia, disponer a la salida del sistema de una señal de audio perfectamente adecuada a los intereses de producción establecidos. Al proceso de producción de audio se le llama comúnmente, por esta razón, *masterización*, en tanto que el objetivo es obtener una señal *master*, maestra, que recoja el sonido resultante de las señales en bruto con que se alimentaron las entradas en la mesa de mezclas.

Individualmente, tal como vemos a continuación, cada una de las entradas dispone, al menos, de los siguientes controles sobre la señal. En primer lugar, debemos distinguir si la señal de entrada es de micrófono o de línea, es decir, de cualquier otra fuente, ya que en el caso de que provenga de un micrófono necesariamente se habrá de amplificar, puesto que su voltaje será inferior al valor nominal con que funcionará internamente el sistema, generalmente de 1 o 0'775 voltios. A continuación, tenemos un selector de preescucha o previo, con el que podremos monitorizar, escuchar, el nivel de volumen de la señal en la entrada, el cual se acompaña con un control de nivel que podemos regular y visualizar gráficamente su valor con el medidor que, normalmente, nos avisará con *leds* de color rojo cuando el nivel de la señal sea demasiado elevado y exista

peligro de saturación eléctrica del sistema con la consecuente distorsión sonora que produce tal situación sobre la señal.

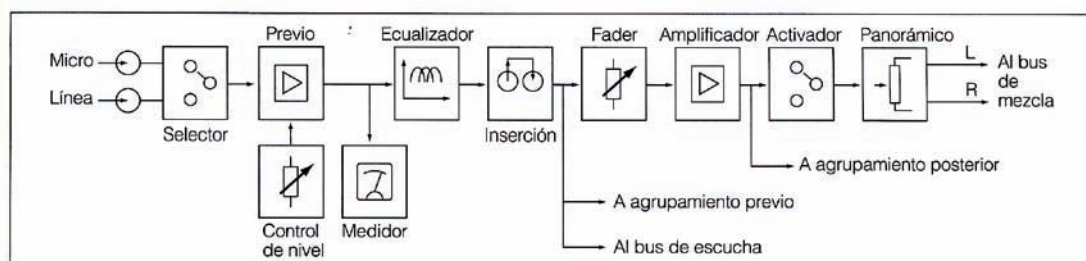


Ilustración 119. Esquema del canal de entrada de la mesa de mezclas (S. R. Alten)

Un poco más a la derecha del gráfico encontramos un ecualizador, que puede ser más o menos sofisticado y funcionar agrupando grupos de frecuencias (altas, medias y bajas) o ser del todo parametrizable y permitir seleccionar frecuencias específicas y determinar su nivel individualmente, utilizando para ello filtros *lowpass*, *highpass* o *notch*, es decir, que dejan pasar las frecuencias situadas por debajo de la frecuencia de corte, las altas, o suprimen la frecuencia específica, muy útiles estos últimos para, por ejemplo, reducción de ruido. A continuación, vemos cómo funciona un ecualizador paramétrico, en el que se puede decidir la intensidad de atenuación o aumento de señal para la frecuencia de corte seleccionada y el factor Q, es decir, la amplitud del efecto a ambos lados de la frecuencia central seleccionada.

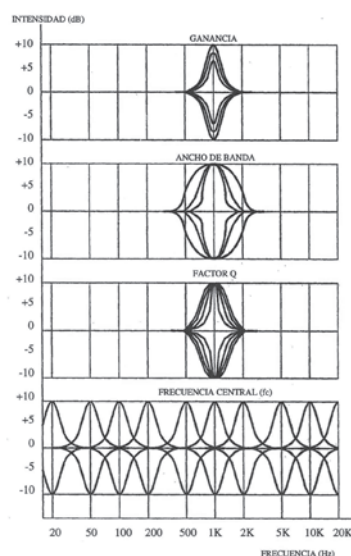


Ilustración 120. Ecualización. Factor Q (F. Molero)

Posteriormente, aún tenemos la posibilidad de llevar la señal a un equipo externo y después insertarla una vez modificada en ese mismo punto del bus de entrada, o por otro canal si así lo queremos.

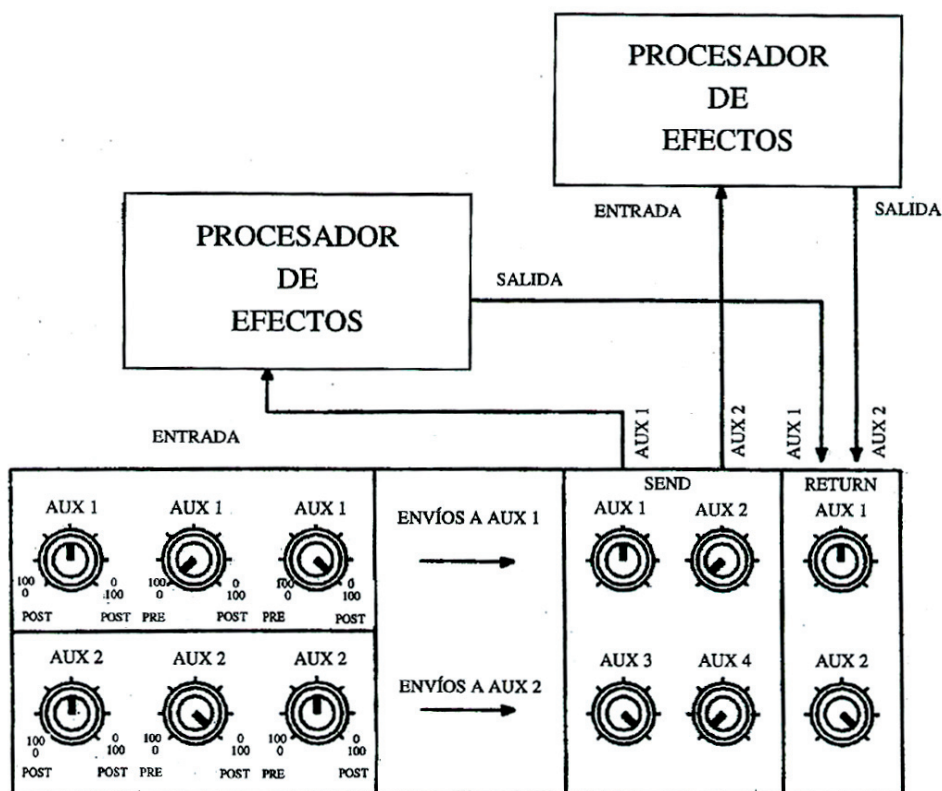


Ilustración 121. Esquema de entrada y salida de efectos en la mesa de mezcla (S. R. Alten)

Un poco más allá encontramos el *fader*, que no es más que un deslizador que hace las veces de potenciómetro y aumenta el voltaje de la señal, de igual manera que hacía algo más atrás en el esquema el control de nivel de entrada, permitiendo decidir el volumen final con el que el canal se mezclará con el resto de fuentes. Después del amplificador encontramos el activador de canal, control que nos permite decidir si interviene en el proceso de *masterización* o no, y, en último lugar, el control de panorámica, que lleva la señal hacia el canal izquierdo o derecho de la mezcla final, que nos permitirá decidir la forma en que se realiza globalmente el estéreo en función de la distribución individual de canales que hagamos a cada canal durante la grabación.

A continuación, podemos ver el aspecto que presenta una mesa de mezclas común, aunque cada vez es más usual que la mayoría de las mesas digitales dispongan de menús en pantalla que realizan todas las funciones que aquí podemos ver dispuestas en botones manipulables manualmente.

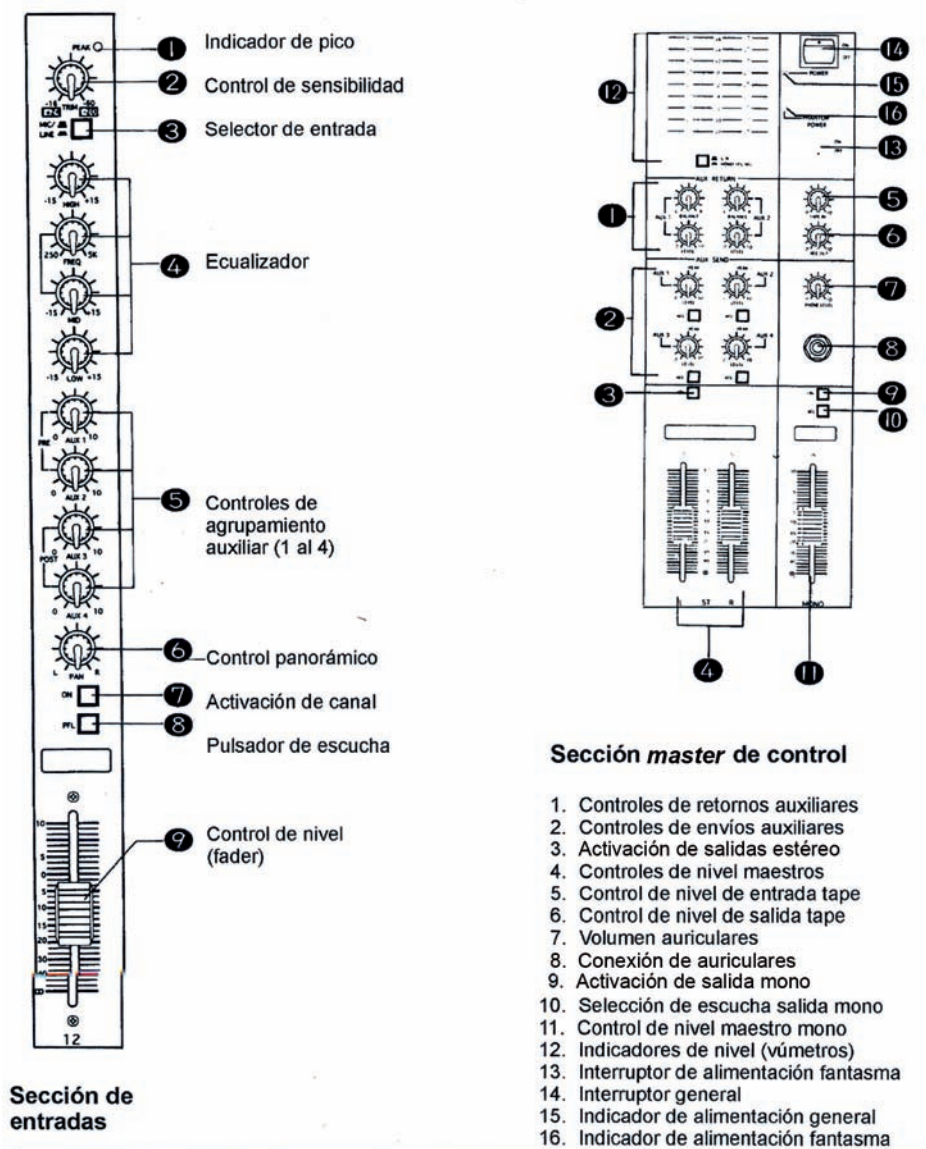


Ilustración 122. Detalle completo de los controles de procesamiento en la mesa de mezclas (S. R. Alten)

Como se puede observar, tal como decíamos, una mesa de mezclas no es más que un dispositivo de entrada y salida que permite el tratamiento de la señal y su agrupamiento final o *masterización*. Lo que resta, una vez obtenida la señal *master*, es registrarla de manera adecuada y dejarla dispuesta para su distribución y reproducción en los soportes y equipos adecuados para su escucha, cuyas características veremos a continuación.

Tal como comentábamos, a las mesas de mezclas se las puede complementar con equipos externos a los que se pueden enviar señales que de nuevo se retornarán a la mesa u otros que operen con la señal *master* una vez ya mezclada. Entre los equipos externos más habituales en el estudio de sonido podemos encontrar *ecualizadores*, cuya función ya descrita es equilibrar el nivel del sonido en frecuencias o grupos de frecuencias particulares; *compresores/limitadores*, utilizados para disminuir de manera proporcional el rango dinámico de la señal, su volumen, y evitar así saturaciones y picos de distorsión, algunos de ellos con la posibilidad de establecer umbrales máximos a partir de los cuales se realiza de manera automática la compresión; *procesadores de efectos*, entre los más comunes los que permiten regular el eco y la reverberación,

Cabe mencionar, para finalizar este epígrafe, el sistema MIDI (Musical Interfaz Digital Instrument), que fue la antesala de la introducción de los equipamientos digitales en los estudios profesionales de sonido y es muy utilizado entre los músicos en la actualidad. El sistema MIDI es un protocolo de control remoto de instrumentos musicales que permite manejarlos mediante secuencias de datos estandarizadas, normalmente mediante un teclado MIDI. Los datos de control MIDI se pueden grabar en archivos informáticos y pueden utilizarse posteriormente y, de este modo, reproducir las variaciones tímbricas, tonales y de volumen de una composición musical y reconstruir sonoramente la pieza conectando instrumentos que sean capaces de interpretar el protocolo, es decir, que utilicen una interfaz MIDI.

Durante todo el proceso de tratamiento de la señal, y una vez procesado el sonido y realizadas las operaciones pertinentes de ecualización y mezcla de las distintas fuentes que conforman el *masterfinal*, se ha de monitorizar permanentemente el estado en que las señales de entrada se introducen en el sistema de producción de audio y el resultado que se está obteniendo con las manipulaciones y mezclas realizadas con el conjunto de fuentes sonoras originales.

Los altavoces, tal como vemos a continuación, convierten diferencias de tensión en diferencias de presión, utilizando, para ello, una membrana que imprime al medio de propagación una fuerza de vibración proporcional a la intensidad y a la frecuencia de la señal eléctrica que recibe. Una bobina móvil inserta en un campo magnético recibe esos impulsos eléctricos provocando el movimiento de la membrana suspendida en la carcasa y a la que está unida y, consecuentemente, desplaza las moléculas que se encuentran en el exterior del cono del altavoz con intensidad y frecuencia proporcional a la señal de entrada, generando una señal sonora análoga a la eléctrica.



Los altavoces pueden ser de diversos tamaños y, según su construcción, estar destinados a reproducir determinados rangos de frecuencia y hacerlo con determinada potencia máxima. Para aumentar la intensidad de la señal eléctrica de salida en los equipos de producción de sonido se utilizan los amplificadores, cuya única función es incrementar el nivel de la señal sin introducir distorsiones y de manera lineal en función de cada una de las frecuencias. Al amplificador se le conectan, entonces, los altavoces adecuados a la potencia que puede suministrar, de manera que las prestaciones del sistema sean adecuadas a las prestaciones de sus componentes. La potencia nominal de los altavoces se denomina generalmente en vatios, y su valor indica el número de vatios que un altavoz puede soportar antes de que se produzca una distorsión inaceptable.

Los altavoces también se diferencian entre sí según su sensibilidad y su directividad, como los micrófonos, y, sobre todo, por su respuesta en frecuencia, distinguiendo así entre altavoces para agudos, medios, graves o *subwoofer*, ofreciendo estos últimos frecuencias inferiores a los 100 Hz. Se pueden encontrar altavoces individuales de cada tipo particular o sistemas de dos o tres vías en los que se incluye un altavoz agudo y otro grave, o ambos, más uno que radie las frecuencias medias. En los altavoces de tres vías, por lo general, los altavoces graves sirven frecuencias situadas en el rango de 20 Hz y 400 Hz, los medios responden ante frecuencias comprendidas entre los 400 Hz y 4 KHz, y los agudos, por encima de estas últimas y hasta los 20 KHz, aunque puede existir cierta variabilidad, dependiendo del fabricante y del sistema de construcción y materiales empleados. Cuando se montan en cajas acústicas, como vemos a continuación, algunos de ellos, en lugar de separar en cada una de ellas dos o tres vías las frecuencias a reproducir, utilizan radiadores pasivos o tubos resonadores que permiten conseguir el mismo efecto aprovechando mejor la energía que suministra el sistema.

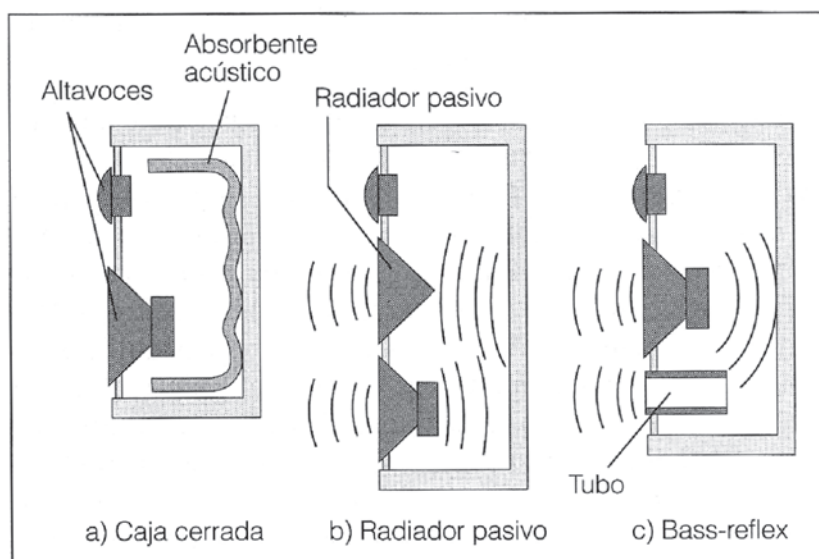


Ilustración 124. Distintos tipos de caja acústica (F. Molero)

Los sistemas de altavoces se utilizan en configuraciones estereofónicas, es decir, de dos canales y emulando nuestro sistema auditivo, u otras disposiciones más complejas como el sistema de sonido envolvente multicanal, que puede ser 5.1 o 7.1, comúnmente. Tal como vemos a continuación, la diferencia con el estéreo es la utilización de 5 o 7 altavoces en lugar de 2, canales individuales a los cuales se habrá direccionado de manera previa parte de la señal resultante de la mezcla final en todo el proceso de producción, de manera que durante la audición el oyente tenga la sensación de estar situado en el centro de la escena.

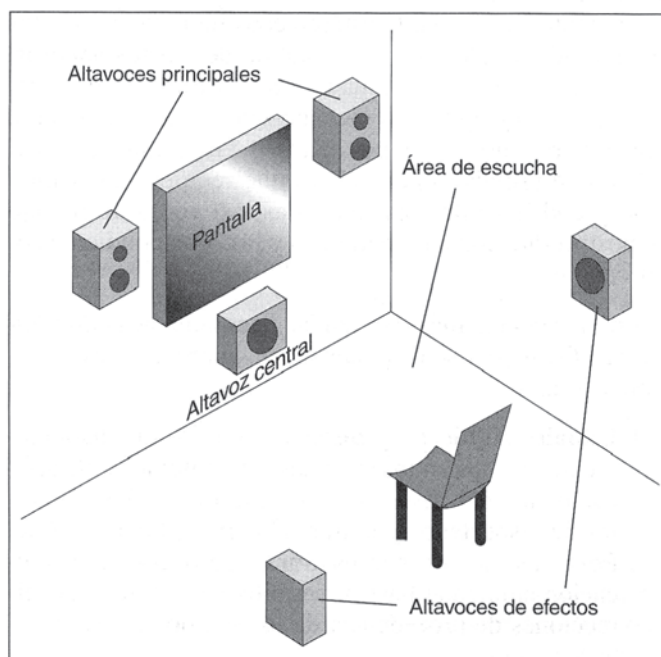


Ilustración 125. Sistema de sonido 5.1 (F. Molero)

Los formatos de sonido envolvente más extendidos son Dolby, DTS y THX. Todos ellos buscan obtener un sonido mucho más espectacular y aportar una experiencia audiovisual más intensa. La diferencia entre ellos radica en la forma de codificación y distribución de la señal multicanal, además de los sistemas específicos de reducción de ruido que utilizan para la mejora de la calidad final del sonido, aunque, sobre todo, su mayor o menor éxito depende de políticas y alianzas comerciales y de *marketing* entre las empresas de la industria de equipamientos y las de producción y distribución audiovisual con el objetivo de implantarse en el mercado con mayor solidez que sus competidores.

3.2.5. Soportes y equipos de grabación

Al igual que vimos para la imagen, el registro de la señal de audio se realiza en la actualidad utilizando las tecnologías de grabación magnetoópticas. Los dispositivos de archivo que podemos encontrar en el mercado funcionan de igual manera. En general, se utilizan los mismos soportes, los periféricos comunes en el entorno digital, de uso indiferente para cualquier tipo de contenido, dado que el archivo contiene datos binarios en todos los casos.

Entre los soportes más utilizados actualmente para la grabación de archivos de sonido, encontramos aquellos que utilizan tecnología láser, tales como CD o DVD, para el registro de los datos de manera permanente sobre una superficie deformable microscópicamente, o sobre una superficie magnetizada que permite el borrado y reescritura de los datos. El sistema de luz láser, tal como vemos a continuación, está fundamentado en un diodo emisor, cuya luz atraviesa una lente colimadora, y se concentra aún más, para después, con un sistema de enfoque, hacerla llegar hasta la superficie de un disco giratorio sobre la que, tal como vemos en el ejemplo de un CD no regrabable, el calor del haz produce deformaciones microscópicas superficiales que, posteriormente, podrán ser leídas e interpretadas utilizando la reflexión del láser sobre la superficie.

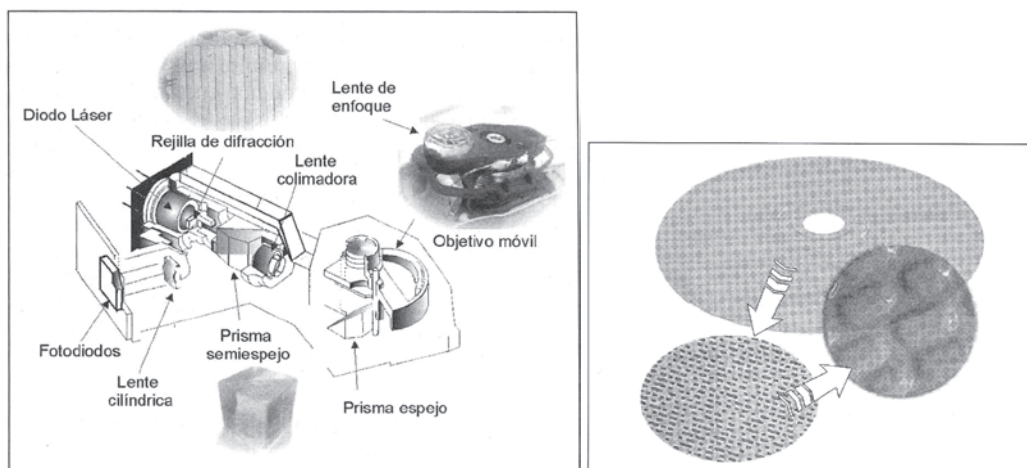


Ilustración 126. Esquema del sistema de lectura/grabación de un cd/dvd

Otro sistema de grabación más tradicional, y prácticamente ya sustituido en la mayor parte de los estudios de grabación, es el realizado sobre cinta magnética. Funciona con los mismos principios que todos los soportes magnéticos, es decir, aprovechando el campo magnético que genera de manera inherente la corriente eléctrica de manera proporcional a su intensidad para polarizar en mayor o menor medida las partículas suspendidas sobre una superficie magnetizada, en este caso una cinta que se desplaza a determinada velocidad por la cabeza lectora/grabadora. Tal como vemos en el gráfico, la variación en la posición inducida a las partículas magnéticas sirve de registro de la intensidad de la señal eléctrica recibida, la cual, recordemos para el caso del sonido, contiene la información de la onda sonora original que se convirtió en señal eléctrica al entrar en el sistema de producción de audio. Al contrario que en los cd o dvd, que sólo graban 1 o 0, la señal grabada en las cintas puede ser analógica o digital, aunque lo común es que todos los sistemas de registro sean ya digitales en la mayoría de los estudios de producción profesional de sonido.

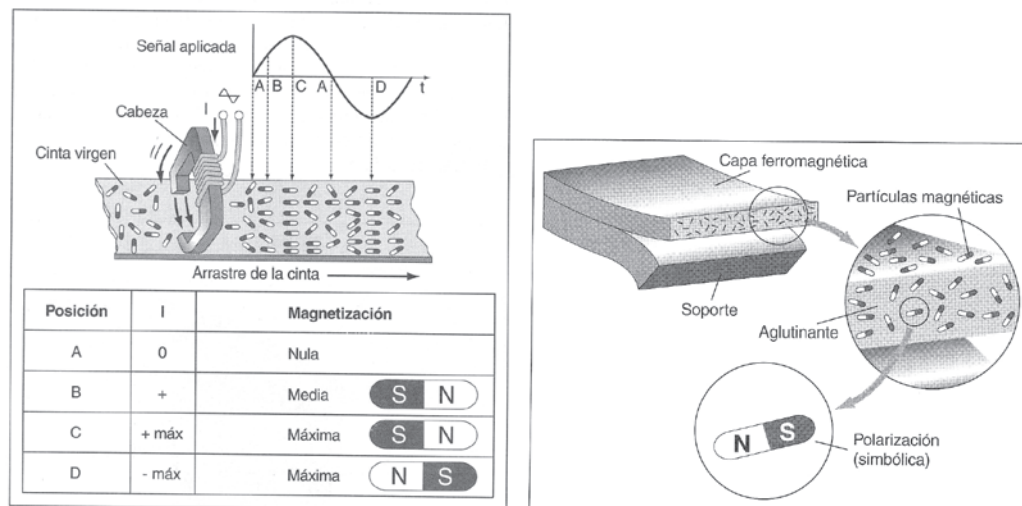


Ilustración 127. Grabación magnética (F. Molero)

Además de los cd y cintas de audio, un sistema de grabación todavía utilizado, aunque en franco proceso de rápida obsolescencia, es el *minidisc*, desarrollado y comercializado por Sony

y que utiliza igualmente tecnología óptica o magnetoóptica para grabar la señal sobre la superficie deformable de un disco o cambiar la polarización de las partículas magnéticas al hacer incidir sobre ellas el haz láser.

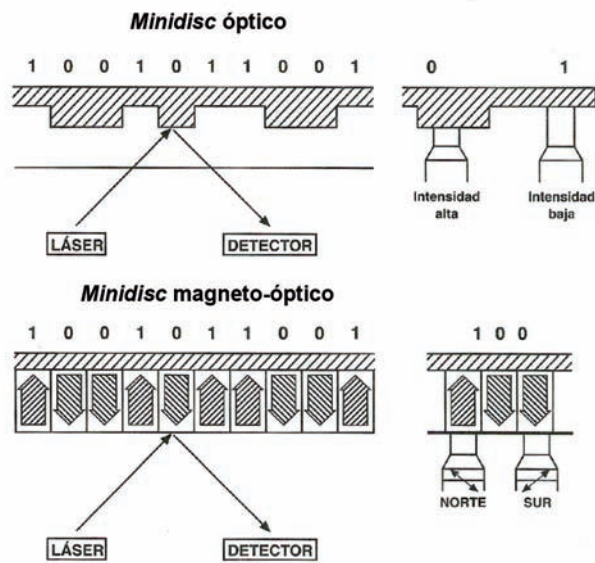


Ilustración 128. Grabación en minidisc (S. R. Alten)

El funcionamiento de las tarjetas de memoria tipo *flash* ya ha sido explicado en el tema anterior. A continuación, podemos ver el esquema de un disco duro, sistema de archivo que también utiliza tecnología de grabación sobre soporte magnético cuya única particularidad es que está basado en discos giratorios que permiten, a diferencia de los sistemas de cinta pero de igual modo que el resto de soportes de grabación utilizados en el ámbito informático, el acceso aleatorio a los datos, lo cual facilita enormemente su lectura, procesamiento y grabación.

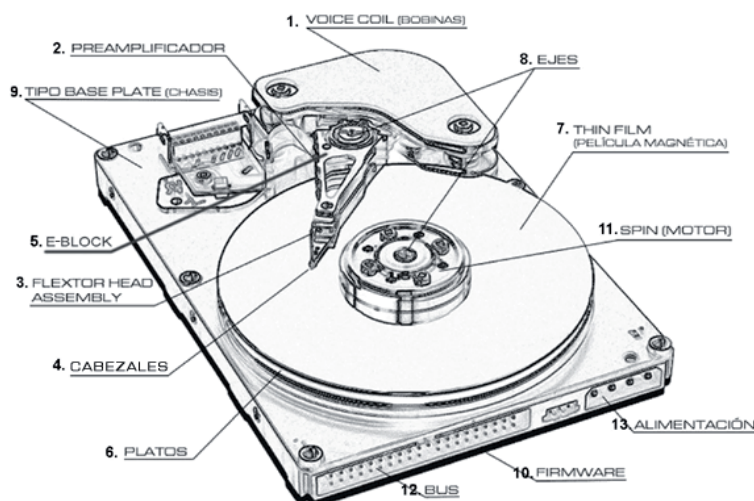


Ilustración 129. Grabación en disco duro

Existen diversos formatos de archivo de audio para la grabación, entre los más populares los formatos WAV, AIF y MP3, este último derivado de las normas de compresión establecidas por el denominado Motion Picture Experts Group (MPEG) que ha estandarizado diversas normas de compresión de archivos audiovisuales, como MPEG-1 layer 3 o también conocido como MP3, utilizando, entre otros, sistemas de compresión para la reducción de datos basados en el enmascaramiento de frecuencias no audibles, con un algoritmo de compresión específico que disminuye sensiblemente el tamaño del archivo.

3.2.6. Producción y postproducción musical

La mayor parte del trabajo actual de mezcla y producción de audio se realiza utilizando plataformas de software específicas entre las que se encuentran programas de reconocido prestigio entre los profesionales del sector de producción sonora como *Protools* y las desarrolladas por Apple y distribuidas en el paquete *Logic Studio*, que veremos brevemente a continuación.

El paquete incluye los programas *Logic Pro*, destinado como *Protools*, a la producción musical con herramientas de escritura, edición, mezcla y grabación, y *Soundtrack*, un editor de audio multicanal muy efectivo para la postproducción sonora de vídeo e integrado perfectamente con *Final Cut*, el editor de vídeo también distribuido por Apple del que hablaremos en el siguiente capítulo, formando conjuntamente una plataforma de producción sonora y audiovisual de grandes prestaciones y contrastada fiabilidad.

A continuación, podemos ver las interfaces de *Logic* y *Soundtrack*, extraordinariamente intuitivas y fáciles de manejar y que incluyen multitud de herramientas para composición y producción musical y edición de audio.

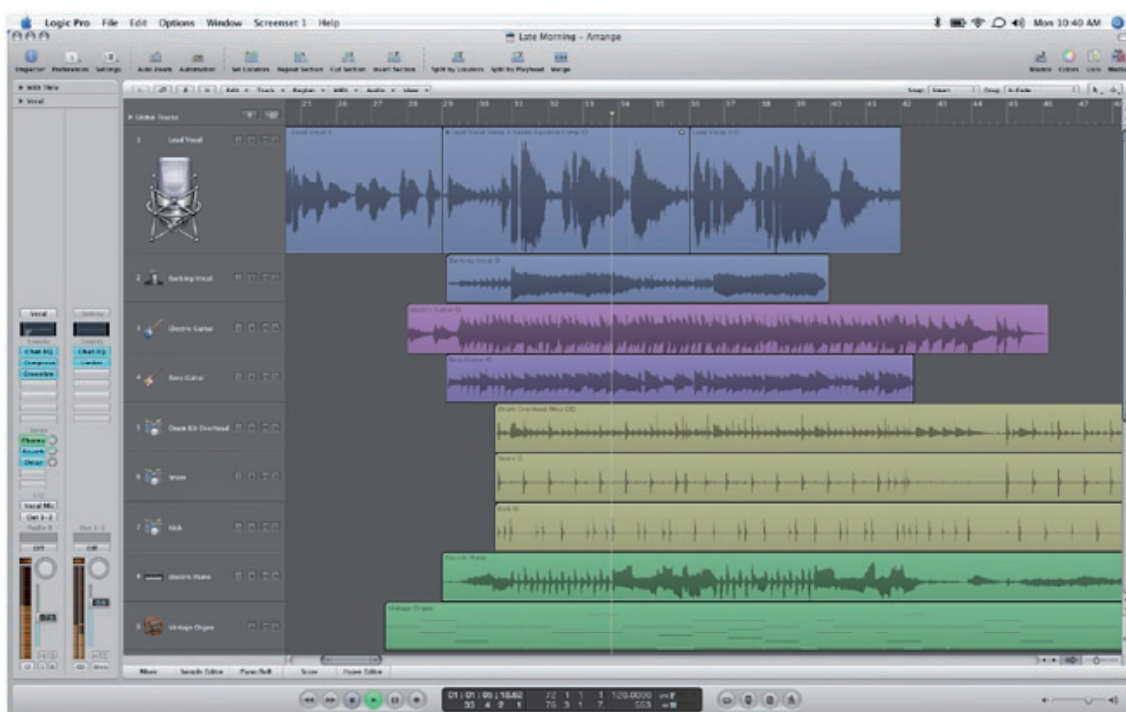


Ilustración 130. Espacio de trabajo del programa *Logic Pro*

Como se puede observar, el espacio de trabajo de *Logic Pro* distribuye la pantalla horizontalmente con las sucesivas pistas de cada instrumento o fuente musical, de manera que se puede editar y sincronizar el conjunto con facilidad, y tiene un sistema de mezcla y manejo de pistas muy intuitivo, y facilidades incluso para elaborar sonido envolvente 5.1 surround.



Ilustración 131. Detalle de pista en *Logic Pro*



Ilustración 132. Mezcla y distribución del espacio sonoro en *Logic Pro*

Soundtrack, como vemos a continuación, integra de manera eficiente en el espacio de trabajo la imagen y el sonido para una postproducción sonora de vídeo profesional.

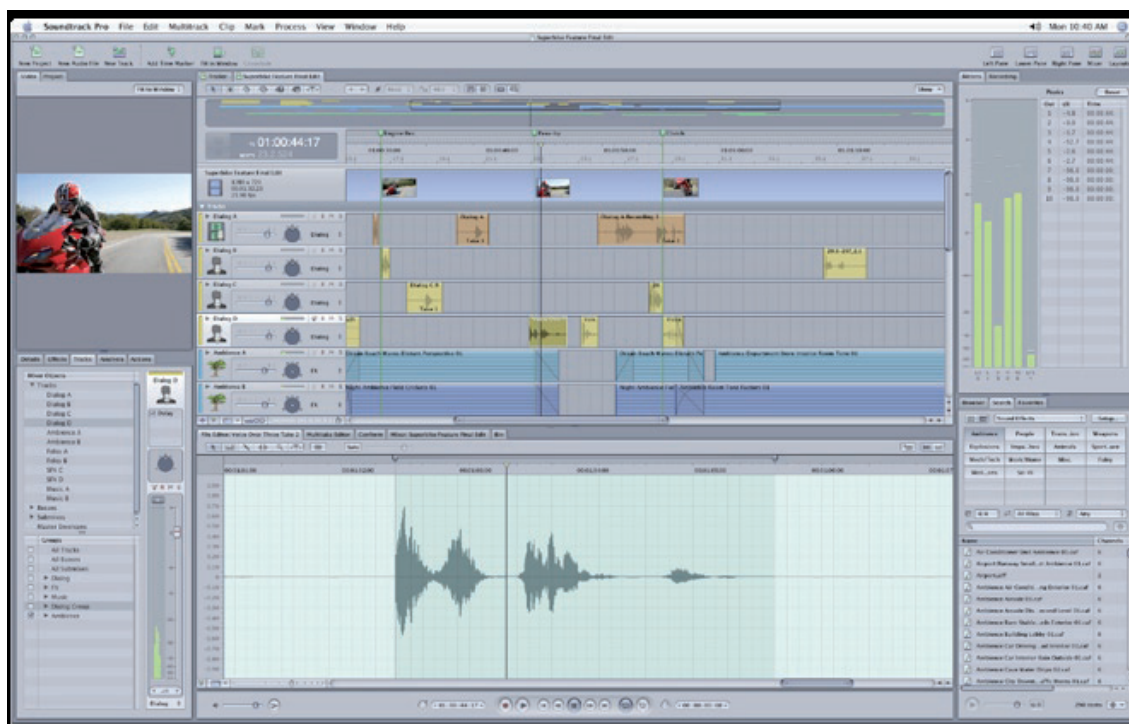


Ilustración 133. Espacio de trabajo en *Soundtrack*

En definitiva, las labores de producción sonora y musical se facilitan y potencian mucho, además de impulsar el trabajo creativo con herramientas y librerías de efectos que, tal como ocurre en los sistemas digitales, se realizan de manera sencilla y no destructiva, de modo que se reducen drásticamente los tiempos y los costes de producción y se mejoran los resultados finales.

3.3. TRANSMISIÓN DE SONIDO. LA RADIO

Uno de los sistemas de distribución más antiguos de señal de audio es el utilizado haciendo uso de radiofrecuencias, es decir, para hacer llegar el sonido hasta receptores situados muy lejos del lugar donde se produce la emisión radiofónica. La tecnología de radio fue la continuación de los avances en telegrafía sin hilos y su invención se atribuye a Marconi, en el año 1897, aunque hasta pasada la Primera Guerra Mundial no se empezaron a crear emisoras y redes de transmisión, cuya expansión y utilización jugaría un importante papel propagandístico en los siguientes años a nivel geoestratégico mundial. Su desarrollo como tecnología es el resultado de la invención de la lámpara de tres electrodos o triodo por De Forest en 1906, que permitía no sólo detectar el sonido, sino también amplificarlo. Otros físicos de prestigio como Hertz demostraron la teoría electromagnética de Maxwell, dando nombre a las ondas *hertzianas* en su honor, y, junto a otros, como el francés Branly, inventor del detector de ondas, allanaron el camino para que Marconi ideara un sistema de transmisión y recepción a distancia de ondas electromagnéticas o *hertzianas*, es decir, la emisión por radiofrecuencia o *radio*.

El esquema de producción radiofónico, como podemos ver a continuación, se caracteriza por la utilización de un sistema radiante de distribución mediante antenas hasta hacer llegar la señal, en forma de ondas electromagnéticas de idéntica naturaleza que las de la luz, pero de distinta longitud de onda y frecuencia, hasta los receptores domésticos.

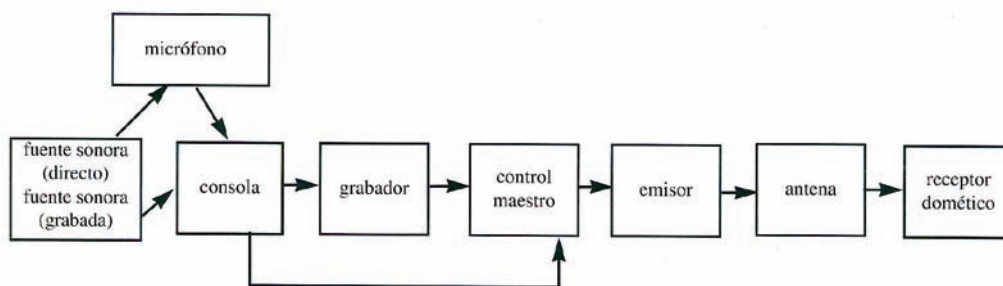


Ilustración 134. Esquema del proceso de producción y radiodifusión (F. Molero)

La distribución de la señal se realiza utilizando una red de antenas que, de manera simultánea en muchos casos, hacen las veces de nodos de la red y de antenas terminales que distribuyen señal ya dispuesta para su decodificación por los receptores, y utilizan unas frecuencias determinadas asignadas para tal efecto, concretamente para la FM entre los 88 Mhz y 1080 Mhz.

Banda de frecuencias	Canales	Designación
10 a 35 MHz		Canal ascendente
54 a 72 MHz y 76 a 88 MHz	2 a 6	Banda baja
88 a 108 MHz	Radio - FM	Banda de FM
108 a 174 MHz	98, 99 y 14 a 22	Banda media
174 a 300 MHz	7 a 13 y 23 a 36	Superbanda
300 a >402MHz	37 a >53	Hiperbanda

Ilustración 135. Frecuencias de emisión de radio (F. Molero)

Para hacer posible tal operación, tal como vamos a ver un poco más adelante, se codifica, se modula, la señal eléctrica de audio y se hace llegar hasta un sistema radiante que la convierte en energía electromagnética y la emite hacia el exterior utilizando una antena.

3.3.1. La emisora radiofónica. Estructura básica

El proceso de producción radiofónica se realiza desde estudios acondicionados de manera adecuada y diseñados al efecto, normalmente distribuidos por espacios de producción, en los que se llevan a cabo los programas que, en directo o pregrabados, serán emitidos.

Desde el punto de vista de la tecnología de producción de sonido en una radio, el centro neurálgico es el locutorio y el control técnico, que, juntos, conforman una unidad de producción autónoma. Una radio puede tener varios locutorios y controles técnicos, además de otras salas para archivo, gestión de continuidad y las habilitadas para la redacción de informativos, en caso de que se realicen este tipo de programas. A continuación, podemos ver el esquema de funcionamiento de un locutorio y su estructura que, como podemos observar, está diseñada con aislamiento acústico e intercomunicada mediante cables con el control de producción, normalmente a través de una ventana o un monitor de vídeo en algunos casos.

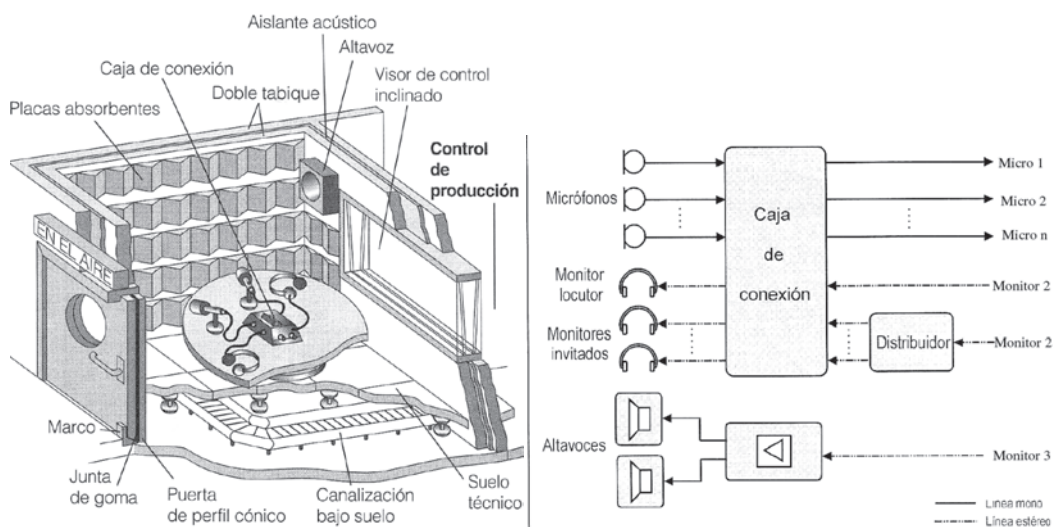


Ilustración 136. Esquema de una cabina de locución y un estudio radiofónico (S. R. Alten)

En el control de producción se realiza el programa utilizando los equipos de mezcla y tratamiento de la señal ya estudiados y se envía la señal al extremo de salida de la cadena de producción radiofónica donde se encuentra el control de emisión, que por lo general suele ocupar otra sala situada en el edificio de los propios estudios, donde se adecua la señal de sonido para su emisión por radiofrecuencia.

3.3.2. Emisión por radiofrecuencia

Para entender en qué consiste la emisión radiofónica vamos a recordar las características de una onda electromagnética que, como podemos ver a continuación, se desplaza de manera longitudinal portando energía electromagnética.

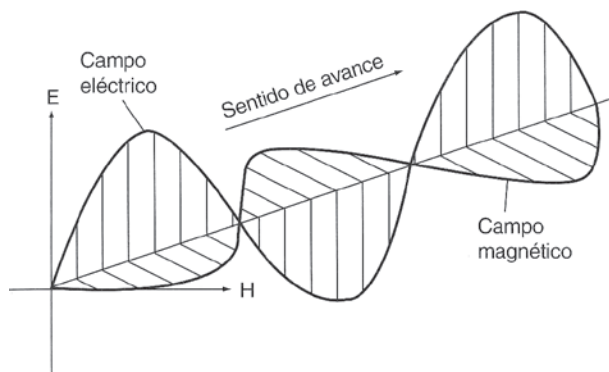


Ilustración 137. Campo eléctrico y magnético en una onda de emisión electromagnética (F. Molero)

Ahora bien, tal como hemos visto, la onda senoidal que forma una señal eléctrica de audio recoge la diversidad del conjunto de frecuencias y amplitudes que conforman el sonido, lo cual implica que la información sonora está registrada y codificada. Si la onda eléctrica tuviera forma de almena con sólo elevaciones o depresiones, estaríamos ante una onda codificada digitalmente, en la que sólo habría dos valores, la mayor intensidad y la menor intensidad re-

gistrada en función del valor 1 o 0 en código binario, fundamento de la radio digital o Digital Audio Broadcast (DAB), todavía en proceso de implantación en nuestro país.

La radio que actualmente podemos sintonizar en nuestros receptores realiza un tipo de codificación que se conoce como *de modulación de amplitud (AM)* o *modulación de frecuencia, (FM)*, de manera que la variabilidad de la señal original se transpone a un rango de frecuencias, las que tiene concedidas por orden ministerial la emisora radiofónica para emitir y en las que nosotros podemos sintonizarla, que hagan posible la emisión de varias cadenas de radio en la parte del espectro electromagnético asignado a estos usos sin que se produzcan interferencias entre ellas.

En la modulación amplitud, tal como podemos observar en el gráfico, se utiliza una señal portadora de frecuencia determinada a la que se suma la señal moduladora, es decir, la señal de audio original, dando como resultado una señal modulada en amplitud, en AM, que recoge con diferencias de amplitud en una determinada frecuencia las variaciones de la señal moduladora. Por el contrario, en la modulación de frecuencia, tal como vemos a continuación, la señal modulada mantiene la misma amplitud y se codifica la variabilidad de la señal moduladora utilizando la frecuencia.

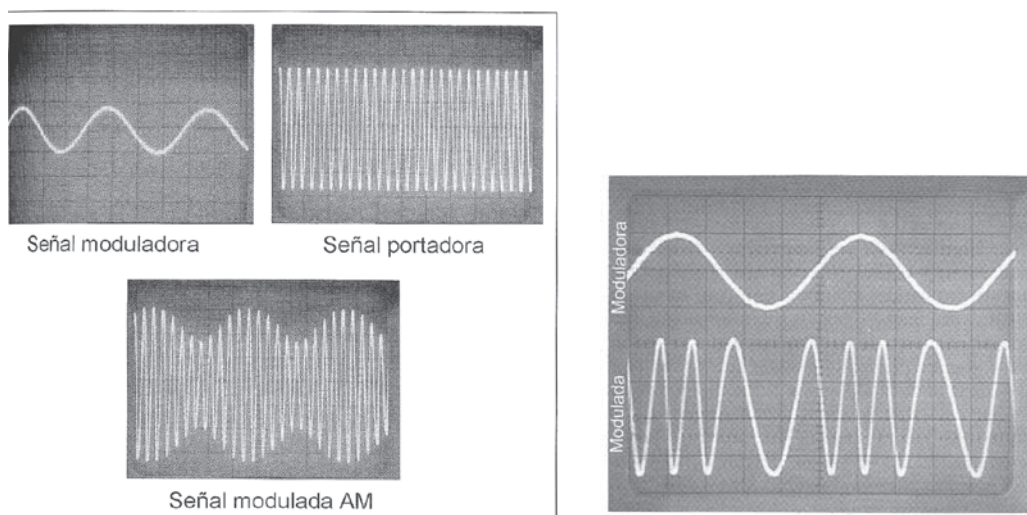


Ilustración 138. Modulación AM y FM

Una vez modulada la señal, se distribuye por diferentes medios utilizando para ello un sistema de distribución de frecuencias regulado internacionalmente para evitar interferencias entre unos operadores u otros y, de este modo, se transpone la señal a las frecuencias de emisión pertinentes para su distribución vía satélite y/o por ondas terrestres.

Introducción a la tecnología de vídeo y televisión

RESUMEN

En este tema se introducen los aspectos científicos fundamentales de las tecnologías usadas en la actualidad para la captación de imágenes audiovisuales.

En primer lugar, estudiaremos los problemas que presenta el registro de imágenes en movimiento, así como las pautas generales que debemos contemplar para la puesta en marcha de los equipos de captación. Posteriormente, en un segundo epígrafe, analizaremos las particularidades del formato de vídeo *DVCAM / HDV* y sus posibilidades para la grabación de imágenes audiovisuales. Finalmente, realizaremos una introducción a los sistemas de edición de imágenes videográficas y, específicamente, estudiaremos las posibilidades y el entorno de trabajo del software de edición profesional de vídeo *Final Cut*.

4.1. CAPTACIÓN DE IMÁGENES EN MOVIMIENTO

Tal como vimos cuando describíamos en temas anteriores la estrategias cognitivas que utilizamos para percibir el movimiento, basta con que un determinado número de imágenes fijas se presente en nuestra retina con una cadencia suficiente para que percibamos la ilusión de movimiento, llamado fenómeno *phi*, tal como lo formuló Hugo Munsterberg en 1916.

Los primeros artilugios que permitían la reconstrucción del movimiento utilizaban estas características y eran expuestos en ferias y espectáculos para regocijo de los públicos. Entre ellos, el sistema ideado por Muybridge para descomponer el movimiento de un caballo utilizando una serie de cámaras que registraban fotografías sucesivas a medida que el equino activaba los cables conectados al disparador, como vemos a continuación:

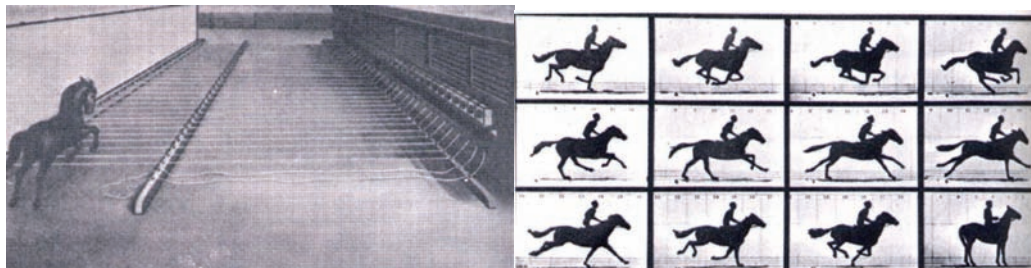


Ilustración 139. *El galope de la yegua Sallie Gardner*, Muybridge, 1978 (M-L. Sougez)

Edward Muybridge era un vagabundo y fotógrafo que fue contratado en 1872 por el gobernador para ayudarlo a ganar una apuesta de 25.000 dólares: apostó con un amigo que el caballo llegaba a tener las cuatro patas en el aire. En 1877 Muybridge colocó 24 cámaras en fila y ató un cable a cada una de ellas: el invento le costó 40.000 dólares, pero el gobernador ganó sus 25.000, y su invento inició el desarrollo de la cinematografía, es decir, la fotografía cinemática o en movimiento.

Sin embargo, por la misma época ya se estaba experimentando con las propiedades del selenio, que variaba su resistencia a la corriente eléctrica cuando era expuesto a la luz y, de manera simultánea, en 1876, Graham Bell conseguía transmitir a distancia informaciones complejas mediante el telégrafo, iniciando, de este modo, la investigación en tecnologías que fuesen capaces de registrar imágenes mediante electricidad y, al tiempo, transmitir las a distancia, es decir, tecnologías que permitiesen la televisión, la visión a distancia.

Para registrar eléctricamente las imágenes se establecieron dos estrategias, la primera de ellas diseñando mosaicos o matrices de células de selenio a cada una de las cuales se conectaba un cable y, en el otro extremo, una bombilla que reproducía la intensidad luminosa captada por la célula fotosensible, un sistema conceptualmente similar al de los actuales sensores CCD o CMOS, aunque estos tecnológicamente mucho más avanzados gracias al desarrollo de la microelectrónica, que hace posible la integración de las células a niveles microscópicos, y a la utilización de nuevos materiales semiconductores, como el silicio, que permite el movimiento y la transferencia de cargas eléctricas con efectividad.

La segunda estrategia de registro de imágenes, desarrollada en 1884 por Nipkow, fue la que se impuso debido a las dificultades técnicas que había entonces para la construcción de equipos con sensores en forma de matriz que fuesen comercializables. El sistema consistía en un equipo mecánico-eléctrico que exploraba la imagen de manera secuencial, punto a punto y línea a

línea de arriba abajo y de izquierda a derecha, y permitía a través de un solo cable transmitirla a otro equipo sincronizado que transformaba esa electricidad en luminosidad y permitía reproducir la imagen a distancia.

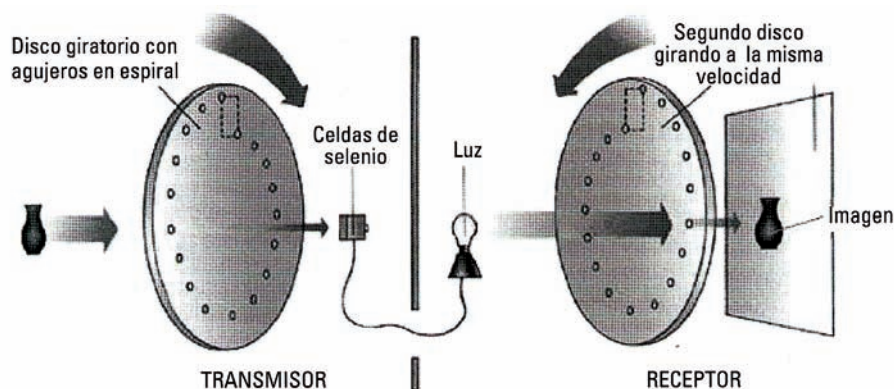


Ilustración 140. Sistema mecánico de tv de Nipkow, 1884 (Pérez y Zamanillo)

Después de perfeccionar el sistema y hacerlo apto para la construcción de equipos de captación y reproducción, fue adoptado por la BBC para la transmisión de imágenes en movimiento a distancia. En 1832, en Inglaterra, había ya alrededor de 10.000 televisores en los hogares que utilizaban esta tecnología.

El registro de imágenes con métodos electrónicos está, como vemos, muy ligado al desarrollo de la televisión desde sus inicios, pues no se pretendía tanto el almacenamiento de las imágenes, que hasta la década de los 50 se hacía exclusivamente en soportes fotográficos basados en las propiedades de la plata, como su transmisión a distancia, de manera que los equipos de captura y reproducción se desarrollaban como sistemas de televisión integral.

En este sentido, el desarrollo de los equipos de imagen electrónica estaba condicionado, además de por las propias dificultades inherentes a la construcción de equipos que acababan por resultar muy voluminosos y de difícil operación dado el escaso desarrollo de la microelectrónica en la época, por las limitaciones técnicas propias que imponía la transmisión de imágenes a distancia. En estudio y mediante cables la transmisión no resultaba especialmente compleja, y los materiales conductores permitían transportar el flujo de datos de la imagen de manera adecuada; pero cuando se transmitía a distancia utilizando, como ya vimos en el tema anterior para la radio, el espectro electromagnético, la ingente cantidad de datos que se necesitaban transmitir complicaba mucho el sistema. Para una fotografía capturada electrónicamente, o para el sonido, los requerimientos del sistema de transmisión, eran perfectamente asumibles, pero transmitir un determinado número de imágenes por segundo, un total de 25 en el sistema europeo PAL, o 30 en el norteamericano NTSC, el gran flujo de datos a transmitir hacía inviable el sistema si se quería enviar una imagen con una resolución aceptable. Para evitar esta limitación, los sistemas de televisión utilizaban la exploración entrelazada, de modo que se analizaban primero las líneas impares y se transmitía una semiimagen, llamada *campo*, y luego las pares, haciendo lo propio. Con esta estrategia, se reducía la cantidad de datos a transmitir y, gracias a la persistencia retiniana durante el proceso de percepción, la imagen se veía completa, y tal fragmentación no suponía ninguna molestia para el espectador. Tal como vemos representado en el gráfico siguiente, la línea continua es explorada de izquierda a derecha y de arriba abajo hasta llegar al extremo en el primer campo o campo impar, y en el segundo o campo par (a la derecha), el resto de la imagen. Las líneas discontinuas representan el movimiento del haz

explorador hacía el siguiente punto activo, en trazo más grueso para las líneas y en trazo más débil para el retorno de campo, que, como se puede observar, se hace hasta el punto donde empieza la exploración del segundo campo.

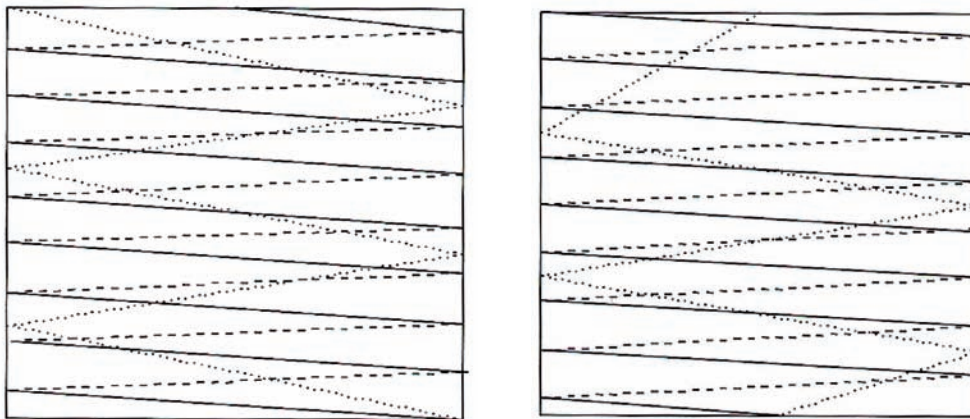


Ilustración 141. Exploración entrelazada de la imagen

El sistema se perfeccionó y se hizo completamente electrónico y, tal como vemos en el gráfico para uno de los sistemas que se desarrollaron, la exploración de la imagen se realizaba en tubos de cámara que exploraban un mosaico fotosensible cuya superficie variaba su resistencia en función de la iluminación recibida. Para ello se utilizaba un haz electrónico guiado por bobinas deflectoras que recorría toda la superficie del mosaico y generaba una señal eléctrica cuya amplitud y frecuencia era análoga a la de la luz recibida en cada uno de los puntos explorados.

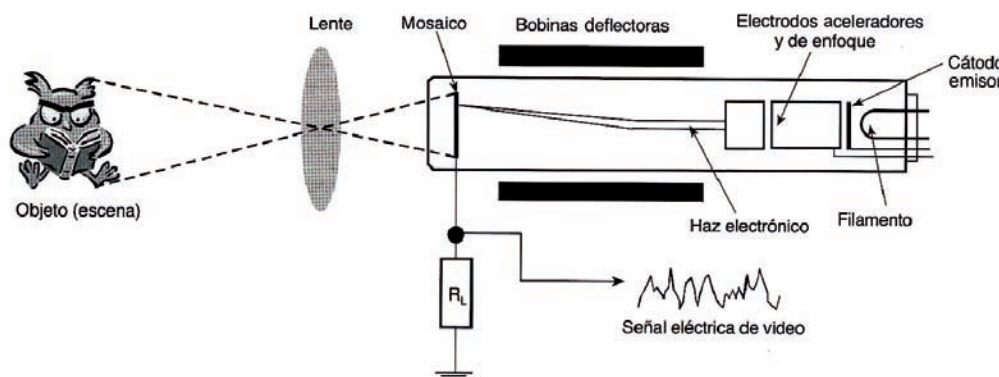


Ilustración 142. Tubos de imagen

Para explorar una imagen en blanco y negro, tal como vemos a continuación, se había de recorrer de izquierda a derecha y de arriba abajo para generar una señal secuencial que reflejase de manera sucesiva la información de cada punto, con lo que el ancho de banda utilizado era el mínimo posible, y el sistema de transmisión por ondas electromagnéticas se hacía factible.

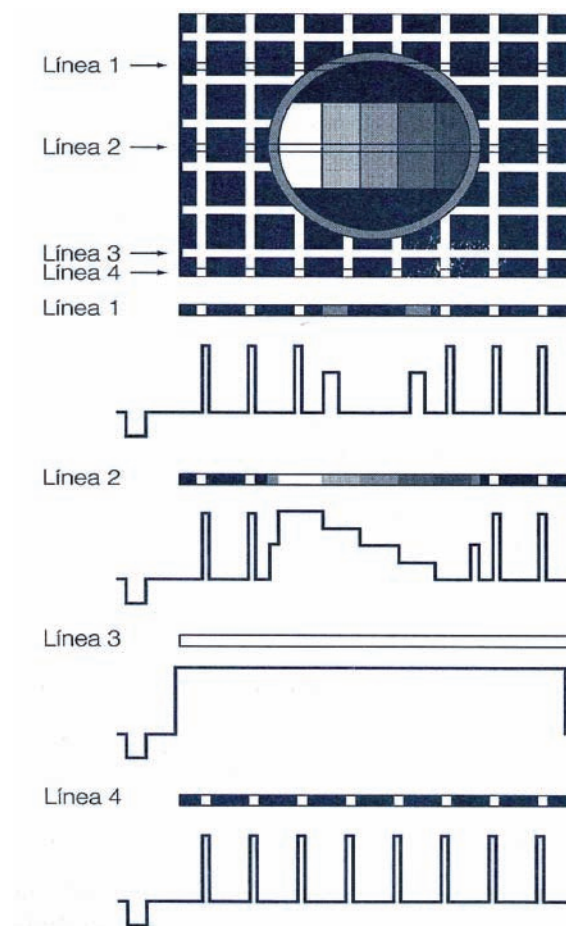


Ilustración 143. Señal de la carta de ajuste (F. Molero)

Si en lugar de transmitir la información sucesiva de cada punto, se hubiese intentado transmitir toda la información de la imagen al mismo tiempo, es decir, en paralelo, de, supongamos, una imagen pequeña de 320 x 200 puntos, hubiese hecho falta, *grosso modo*, 640.000 veces más ancho de banda, algo absolutamente imposible. Al transmitir 25 imágenes por segundo, es decir, 640.000 puntos de imagen x 25 imágenes habría que enviar un total de 16.000.000 de datos, lo cual sí era posible; pero si para cada imagen había que enviar esos 640.000 puntos en 1/25 de segundo, resultaba demasiado lento el sistema y se hacía más ágil y percibía mejor enviar una mitad de imagen, el campo impar, que ya llenaba la pantalla del receptor y, en el 1/50 de segundo posterior, el campo par que la completaba.

De este modo, la señal de vídeo (en formato PAL) tenía una estructura similar a la que podemos ver en el siguiente esquema, es decir, de las 25 imágenes por segundo (50 campos) en un sistema de 625 líneas (720 x 576 píxeles activos) como el actual, que ha de transmitir la información explorada por cada línea, se hacía en 52 microsegundos, y luego reservar tiempo para llevar el haz explorador al inicio de la siguiente línea, para lo cual utiliza 12 microsegundos, utilizados además para que los sistemas receptores, los televisores, se sincronicen en la reproducción.

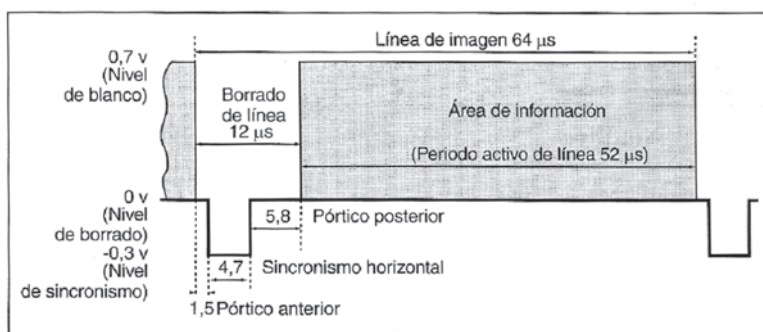


Ilustración 144. Esquema de la señal de una línea de tv

Estaríamos hablando, todavía, de información de imagen en escala de grises, es decir, de imagen blanco y negro. En los sistemas de captura y reproducción de imágenes electrónicas en color es necesario utilizar mecanismos de descomposición de la imagen en los colores primarios, tal como vemos a continuación, y, como consecuencia de ello, se triplica el flujo de datos que se han de gestionar, complicando sobremanera el diseño del sistema.

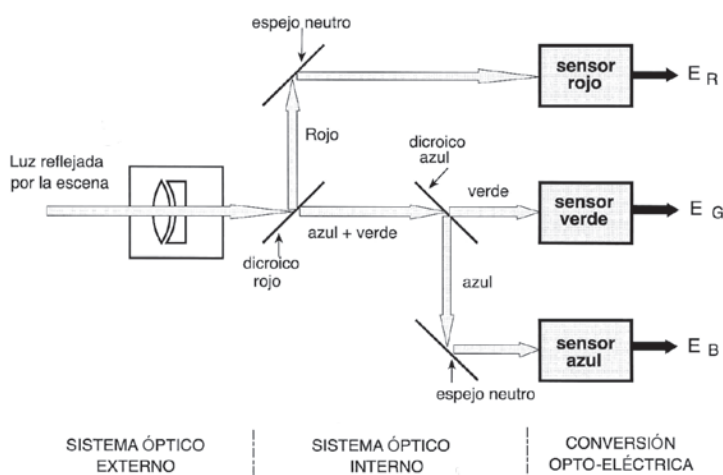


Ilustración 145. Bloque de captura en una cámara de color (F. Molero)

De este modo, y *a posteriori*, se puede reconstruir el color sumando las distantes señales componentes, tal como vemos a continuación, en este caso para una codificación Y/C , es decir, aquella que une la señal de luminancia (Y) con las de crominancia (C) para obtener la señal completa de color.

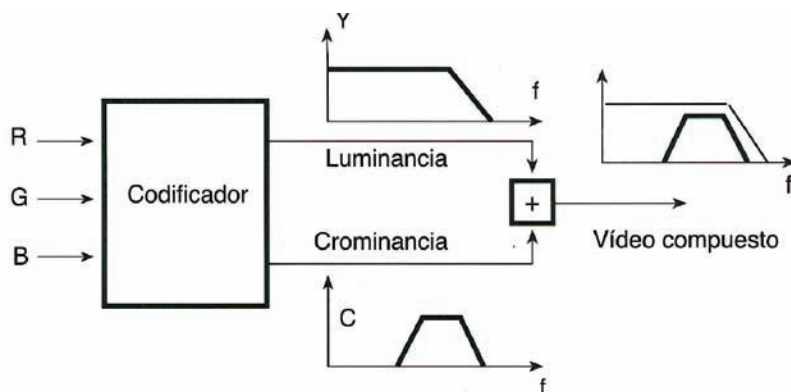


Ilustración 146. Codificación de video compuesto (White)

Los sistemas de captación actuales ya no utilizan tubos de cámara, sino sensores CCD o CMOS como los ya estudiados, cuya respuesta sigue siendo una señal de datos secuencial, independientemente de su modo de funcionamiento, por transferencia de cuadro como vemos en el siguiente esquema, y se sitúan estratégicamente en los equipos de captación utilizando prismas dicroicos para la descomposición de la luz en sus colores primarios fundamentales.

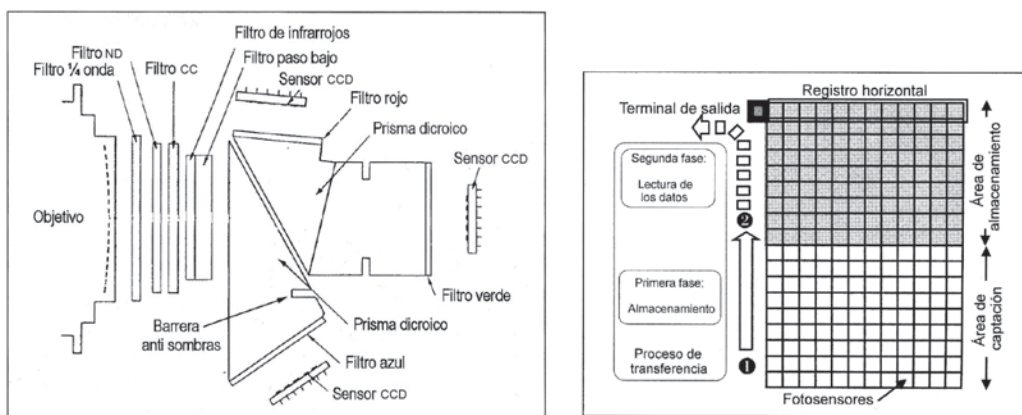


Ilustración 147. Esquema del objetivo y del CCD

Como se puede observar, el sistema de captura incluye genéricamente filtros infrarrojos, de corrección de color (CC), neutros (ND), de 1/4 de onda y paso bajos, todos necesarios para adecuar la luz a las características de los sensores y para filtrar las radiaciones indeseadas para servir la señal a un circuito electrónico, que podemos ver con detalle en el esquema siguiente, que será el encargado de codificar la señal en distintos sistemas de color proporcionando salidas específicas para que ésta pueda ser utilizada en otros equipos.

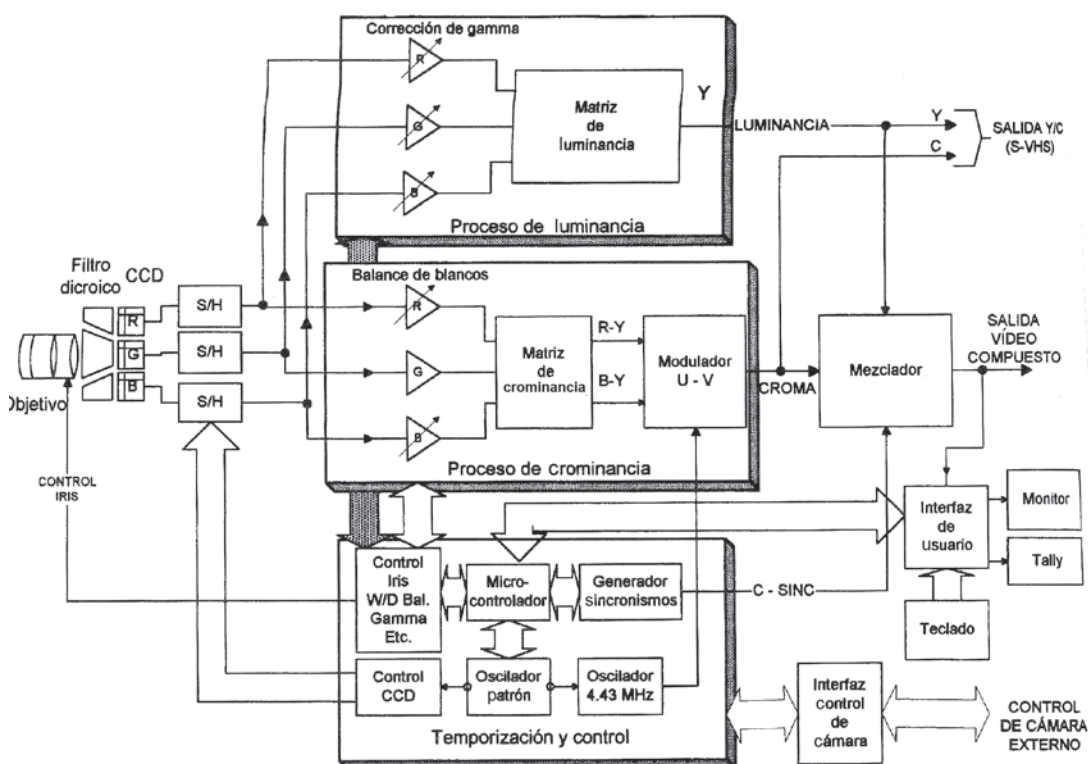


Ilustración 148. Esquema completo de la captura de imagen de una cámara de vídeo (F. Molero)

Es interesante observar en el esquema las correcciones electrónicas que se realizan, la primera de ellas de gamma que, como ya estudiamos, está estrechamente relacionada con el contraste de la imagen, y la segunda de balance de blancos que, como también vimos en su momento, tiene la función de adecuar el registro en función del espacio de color del entorno en que se está capturando para que exista equilibrio de color entre lo existente físicamente y lo percibido por nuestro sentido de la visión. Las señales que este circuito sirve son de vídeo compuesto, PAL, y Y/C, aunque los sistemas de cámara pueden tener algunas otras, entre ellas vídeo separado o RGB, todas ellas disponibles para su uso externo a través de conectores específicos en la cámara.

Los equipos de captación suelen diferenciarse en función de si están destinados al trabajo en estudio o tienen capacidad para el registro autónomo de imagen, en cuyo caso, además, se diferencian por el formato de grabación que utilicen, actualmente todos con sistemas digitales de manera generalizada, tal como estudiaremos a continuación.

4.1.1. Sistemas y tipos de cámaras de vídeo

El proceso de digitalización de la información, tal como hemos estudiado, comprende las fases de muestreo, cuantificación y codificación digital, y su efectividad depende de la frecuencia de muestreo, la profundidad o número de *bits* utilizados para la cuantificación y, finalmente, la codificación que se realice y, en su caso, los algoritmos de compresión que se utilicen.

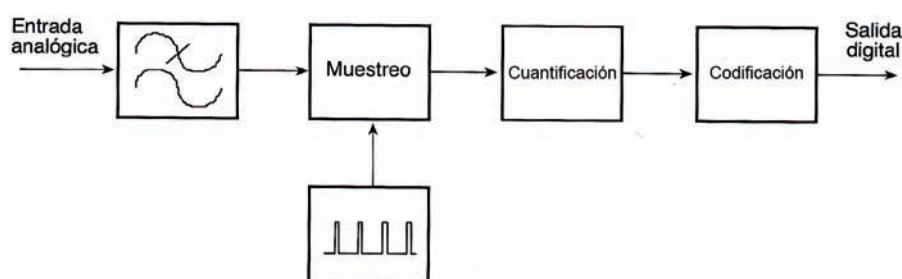


Ilustración 149. Codificación digital

No es distinto el proceso de digitalización para imágenes en movimiento que para imágenes fijas; la única y muy importante diferencia es el enorme flujo de datos por segundo con que se trabaja en el entorno videográfico, lo cual limita sobremanera la resolución de los equipos de captura de imágenes en movimiento. Imagínese, por ejemplo, que se pretendiese grabar imágenes en vídeo de 12 millones de píxeles de resolución, algo perfectamente accesible para los sistemas de fotografía digital en estos momentos, pero muy difícil cuando se hubiesen de manejar flujos de 25 imágenes por segundo, es decir, flujos de datos con la información correspondiente a 300 millones de píxeles por segundo. Razón más que suficiente para que los límites de resolución de los sistemas convencionales de vídeo oscilen entre los 720 x 576 píxeles en PAL, o los 1920 x 1080 píxeles en sistemas de alta definición, aunque para cinematografía digital se desarrollan equipos de prestaciones y calidad muy superiores.

Para la generación del color se utilizan las normas ITU-R, promulgadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, específicamente por el Comité Consultivo en Radiocomunicaciones, y que son las siguientes:

- CCIR 601 4:4:4: Es un formato por componentes R, G y B o Y, R-Y y B-Y que mantiene la máxima calidad y permite el copiado sin pérdidas, pero con un elevado flujo de datos, 249 Mbit/s a 8 *bits* por señal. Cada segundo ocupa en formato PAL aproximadamente 31 Mb.
- CCIR 601 4:2:2: Es el formato de producción con calidad de estudio más utilizado. A diferencia del anterior, utiliza la calidad subjetiva perceptible por la visión humana y el sacrificio colorimétrico es mínimo, aunque la multigeneración provoca pérdidas de calidad. Con esta norma, cada segundo ocupa aproximadamente 21 Mb.
- CCIR 601 4:1:1 y CCIR 601 4:2:0: Ambos formatos suponen una disminución de la calidad colorimétrica de la imagen capturada, pero, a partir de ello, se obtienen unos flujos de datos, 125 Mbit/s, idóneos para producciones ligeras y periodismo electrónico.

Estas normas se han implantado, junto con algoritmos específicos de compresión, en los sistemas digitales de vídeo que se comercializan, cuyas características y prestaciones están ligadas a la particular aplicación que hayan hecho de cada norma, y que son los siguientes:

CCIR 4:2:2

- Betacam Digital: Realiza una compresión que no llega a 2:1 (1,77:1) utilizando un sistema denominado BBR específico de Sony, que es la empresa que comercializa este sistema. Proporciona un flujo de datos de 127,8 Mbit/s, con muestras de 10 *bits*, y cuatro canales de audio.
- DVCPRO 50: Consigue un flujo de 50 Mbit/s con una relación de compresión aceptada en el campo broadcast, 3,3:1, y es específico de Panasonic.
- DIGITAL-S: Similar al anterior, pero desarrollado por JVC.
- Betacam SX: Utiliza compresión MPEG-2 con una relación 10:1 y una tasa de datos de sólo 18 Mbit/s. Compite con los dos anteriores, también desarrollado por Sony. Tiene igualmente cuatro canales de audio de buena calidad.
- Betacam MPEG-IMX: Adaptación de Sony para compatibilizar totalmente el sistema de grabación con el de emisión comprimiendo directamente en MPEG y con una calidad alta, con un flujo de datos también de 50 Mbit/s.

CCIR 4:1:1 o 4:2:0

- DVCAM: Desarrollado por Sony, que utiliza una compresión 5:1 y una cinta ligeramente más ancha para evitar problemas de intermodulación. Puede contener 2 canales de audio de buena calidad o 4 de baja calidad.
- DVCPRO: Especifico de Panasonic y también con una compresión 5:1, aunque sólo permite 2 canales de audio.
- DV: Es el formato básico destinado al ámbito doméstico y, a diferencia de los anteriores, los equipos que utilizan este sistema abaratan los costes en los elementos de captura (CCD) y circuitos de compresión, con lo que la calidad final es inferior. En realidad, los anteriores se han elaborado a partir de éste, manteniendo el flujo de datos en 25 Mbit/s y una compresión *intraframe* de 5:1. En todos estos formatos, se necesita como máximo, combinando vídeo y audio, 5'1 Mb de datos por segundo, es decir, media hora ocupa unos 9 Gb de disco duro.

Actualmente, los sistemas de grabación videográfica más extendidos están basados en cinta magnetizada, aunque se están introduciendo con fuerza, y para quedarse, los sistemas basados en tarjetas tipo *flash* y en discos duros u otros soportes magnetoópticos. Cada uno de ellos se diferencia por el tamaño de cinta que utiliza, la anchura de pista, el tipo de grabación y el formato de muestreo que realizan de la imagen, así como la profundidad de *bits* con que la

graban y el tipo de compresión. El número de canales de audio y la frecuencia de grabación y longitud de muestras también es importante para determinar la calidad de grabación del sonido y, finalmente, es también necesario observar el flujo binario resultante, sobre todo porque se habrá de adecuar las prestaciones del equipamiento de tratamiento de imagen a esas tasas de datos.

4.1.2. El formato de grabación DVCAM y HDV

El sistema DVCAM / HDV es un desarrollo particular del formato DV realizado por la empresa Sony destinado al mercado semiprofesional, aunque sus características permiten su utilización para el registro de imágenes listas para su emisión sin que se aprecien diferencias reseñables de calidad respecto a otros sistemas más profesionales, aunque éstas existen.

El sistema introduce mejoras en la grabación sobre cinta para evitar la intermodulación entre pistas y permite la grabación de códigos de tiempo y hasta cuatro canales de sonido.

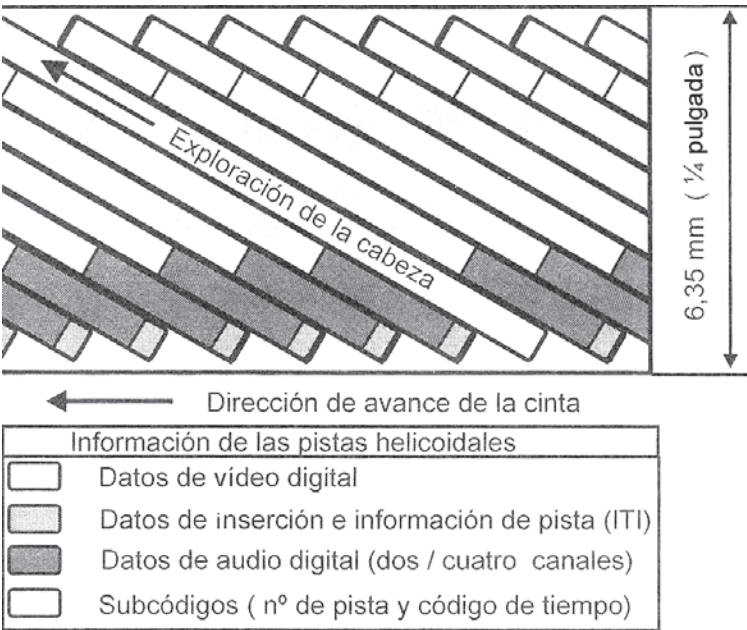


Ilustración 150. Grabación en cinta en el sistema DVCAM

Pero la más importante diferencia respecto a otros formatos de grabación, tal como podemos ver en el cuadro comparativo siguiente, es el modo de muestreo de color, mucho más limitado que en sistemas más profesionales como Betacam Digital, por ejemplo, con ratios de compresión general mucho menores, del orden de 5:1 frente a los 2:1, lo cual facilita la reducción del flujo de datos hasta los 25 Mbps, tasa muy inferior a los 95 del formato Betacam Digital o los 140 del HDCAM. En cuanto a la calidad del sonido grabado, las diferencias son menos apreciables.

Formato	Tipo de cinta	Anchura de pista (μm)	Grabación imagen	Muestreo	Longitud de muestra	Tipo de compresión	Ratio de compresión	Flujo binario (Mbps)	Grabación de audio	Número de canales	Frecuencia de muestreo (kHz)	Longitud muestras
DV	1/4"	10	Componentes	4:2:0 PAL 4:1:1 NTSC	8	DCT Intracuarto	5:1	25	PCM	2/4	48/32	16/12
DVCAM	1/4"	15	Componentes	4:2:0	8	DCT Intracuarto	5:1	25	PCM	2/4	48/32	16/12
HDCAM	1/2"		Componentes	3:1:1	8	DCT Intracuarto	7,1:1	140	PCM	4	48	16
Betacam SX	1/2"	32	Componentes	4:2:2	8	MPEG 2	10:1	18	PCM	4	48	16
Betacam Digital	1/2"	21,7	Componentes	4:2:2	10	DCT Intracampo	2:1	95	PCM	4	48	20

DVCPRO (D7)	1/4"	18	Componentes	4:1:1	8	DCT Intracuarto	5:1	25	PCM	2	48	16
DVCPRO 50	1/4"	18	Componentes	4:2:2	8	DDCT Intracuarto	3,3:1	50	PCM	4	48	16
DVCPRO HD	1/4"		Componentes	4:2:2	8	DDCT Intracuarto	6,7:1	100	PCM	8	48	16
Digital S (D9)	1/2"	20	Componentes	4:2:2	8	DCT Intracuarto	3,3:1	50	PCM	2/4	48	16
D9 HD	1/2"		Componentes	4:2:2	8	DCT Intracuarto	3,5:1	100	PCM	4	48	16
IMX	1/2"		Componentes	4:2:2	8	MPEG-2	3,3:1	50	PCM	4	48	16

Ilustración 151. Sistemas digitales de video

Por su parte, el HDV, también un desarrollo específico de Sony, es un formato de 1440 x 1080 píxeles de resolución que se sitúa como un sistema intermedio en HighDefinition, cuyo estándar está en 1920 x 1080 píxeles, frente a los 720 x 576 píxeles del resto de sistemas, incluidos los formatos Betacam de Sony o DVCPro de Panasonic y el propio formato DV/DVCAM. El sistema HDV emplea el formato de compresión MPEG-2 (MP@H-14 para vídeo), que utiliza grabación en componentes digitales de 8 *bits* con una relación de muestreo de 4:2:0.; para la compresión de audio se emplea MPEG-1 Layer II, lo que permite la grabación de dos canales con una frecuencia de muestreo de 48 kHz/16 *bits*. Emplea la misma anchura de pista y la misma velocidad de cinta que el formato DV, y ofrece un tiempo de grabación idéntico, máximo 63 minutos en una cinta mini.

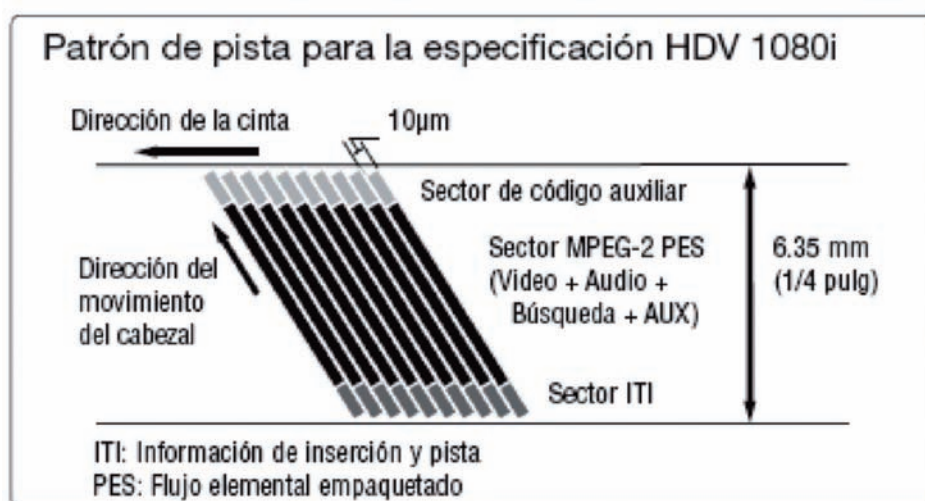


Ilustración 152. Grabación en HDV

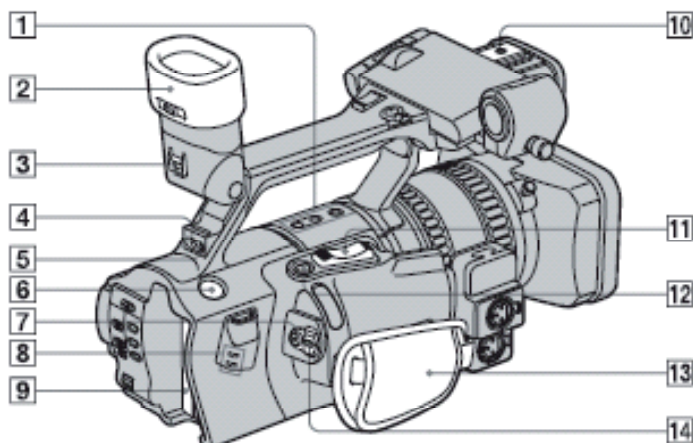
4.2. CONTROLES BÁSICOS DE LOS EQUIPOS DE CAPTACIÓN. PUESTA EN OPERACIÓN

Para regular el paso de la luz y la forma en que llega hasta los sensores, se han desarrollado equipos de captación y objetivos cuyo esquema de controles habituales podemos ver en los siguientes esquemas gráficos, correspondientes al camascopio HVR-Z1E de Sony.

Referencia rápida

Identificación de piezas y controles

Videocámara

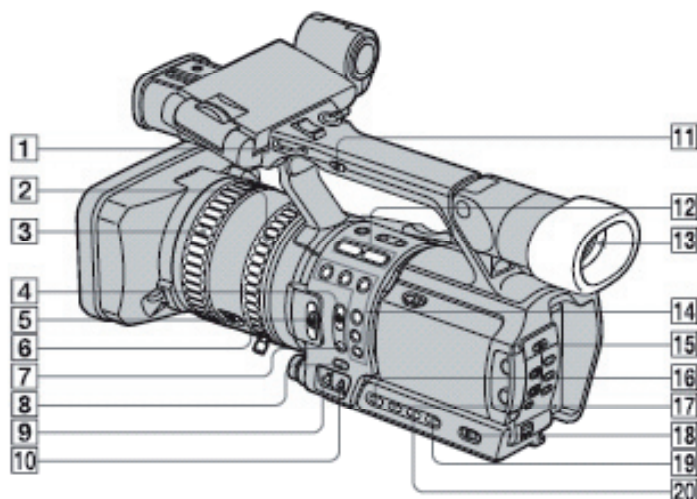


- | | |
|---|--|
| 1 Botones de operación SHOT
TRANSITION (pág. 42) | 11 Palanca del zoom motorizado (pág. 23) |
| 2 Ocular (pág. 16) | 12 Botón EXPANDED FOCUS (pág. 34) |
| 3 Palanca de liberación del visor (pág. 130) | 13 Correa de la empuñadura (pág. 4) |
| 4 Sensor remoto posterior | 14 Selector POWER (pág. 15) |
| 5 Indicador posterior de grabación de la
cámara (pág. 21) | |
| 6 Botón BATT RELEASE (liberación de la
batería) (pág. 12) | |
| 7 Botón REC START/STOP (pág. 21) | |
| 8 Indicadores iLINK (pág. 96, 99)
Se iluminan cuando se manipula una señal
iLINK. | |
| 9 Batería (pág. 11) | |
| 10 Punto de conexión de la zapata para
accesorios (pág. 138) | |

Referencia rápida

→ continuación

Referencia rápida | 133



- 1 Gancho para la bandolera
- 2 Anillo de zoom (pág. 24)
- 3 Anillo de enfoque (pág. 33)
- 4 Selector FOCUS (AUTO/MAN (manual)/INFINITY) (pág. 33)
- 5 Selector ZOOM (pág. 23)
- 6 Selector ND FILTER (1/2/OFF) (pág. 31)
- 7 Botón PUSH AUTO (pág. 34)
- 8 Botón WHT BAL (balance de blancos con una pulsación) (pág. 27)
- 9 Selector GAIN (H/M/L) (pág. 30)
- 10 Selector WHT BAL (balance de blancos) (A/B/PRESET) (pág. 27)
- 11 Selector del zoom del asa (H/L/OFF) (pág. 24)
- 12 Indicadores de formato (pág. 21)
- 13 Visor (pág. 3, 16)
- 14 Botones ASSIGN (1 – 6)* (pág. 90)
- 15 Selector ZEBRA/PEAKING (pág. 32, 35)
- 16 Botón IRIS (pág. 29)
- 17 Botón GAIN* (pág. 30)
- 18 Selector AUTO LOCK (pág. 27, 29, 31)
- 19 Botón WHT BAL (balance de blancos) (pág. 27)

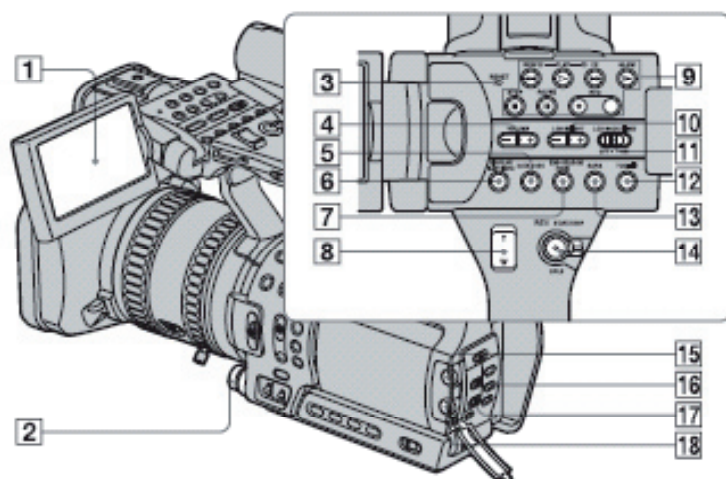
- 20 Botón SHUTTER SPEED (pág. 31)

* Los botones GAIN, ASSIGN 2/5 tienen un punto táctil con relieve. Útilcelo para identificar la ubicación de los botones.

Para colocar la bandolera

Coloque la bandolera suministrada con la videocámara en los ganchos incluidos para dicho fin.





1 Pantalla de cristal líquido (pág. 3, 15)

2 Dial IRIS (pág. 29)

3 Botón RESET

Si se pulsa RESET, todos los ajustes, incluyendo el ajuste del reloj (excepto el menú personal y el perfil de imagen) vuelven a sus ajustes predeterminados.

4 Botones VOLUME +/-* (pág. 50)

5 Botón DATA CODE (pág. 53)

6 Botón DISPLAY/BATT INFO (pág. 12, 53)

7 Botón END SEARCH (VCR) (pág. 52)

8 Palanca de zoom del asa (pág. 24)

9 Botones de control de vídeo (Rebobinado, Reproducción*, Avance rápido, Pausa, Detención, Cámara lenta, Grabación) (pág. 50)

10 Botones LCD BRIGHT +/- (pág. 15)

11 Selector LCD BACKLIGHT (pág. 15)

12 Botón TC/U-BIT (pág. 108)

13 Botón BARS (pág. 23)

14 Botón REC START/STOP y palanca HOLD (pág. 22)

15 Dial AUDIO LEVEL CH1 (pág. 39)

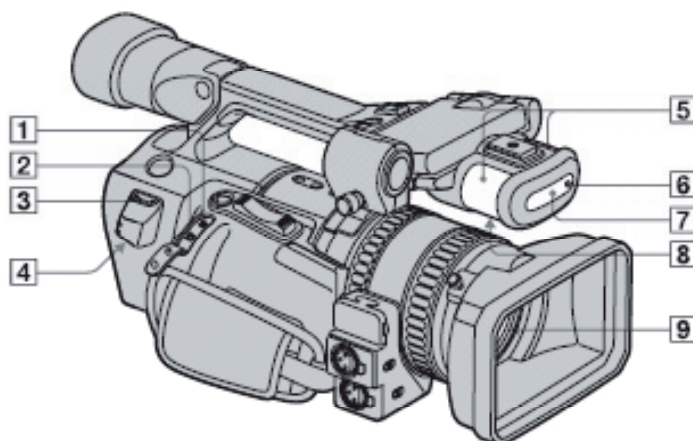
16 Selector AUDIO SELECT CH1 (pág. 39)

17 Selector AUDIO SELECT CH2 (pág. 39)

18 Dial AUDIO LEVEL CH2 (pág. 39)

* Los botones VOLUME + y PLAY tiene un punto táctil con relieve. Utilícelo para identificar la ubicación de los botones.

→ continuación



1 Toma LANC (azul)

La toma de control LANC se utiliza para controlar el transporte de la cinta de un dispositivo de vídeo y de los periféricos conectados.

2 Toma (auriculares)

Cuando utilice auriculares, el altavoz de la videocámara quedará en silencio.

3 Gancho para la bandolera (pág. 134)

4 Toma HDV/DV (pág. 55, 93, 94, 97, 98, 100)

5 Micrófono (pág. 102)

6 Indicador frontal de grabación de la cámara (pág. 21)

7 Sensor remoto frontal

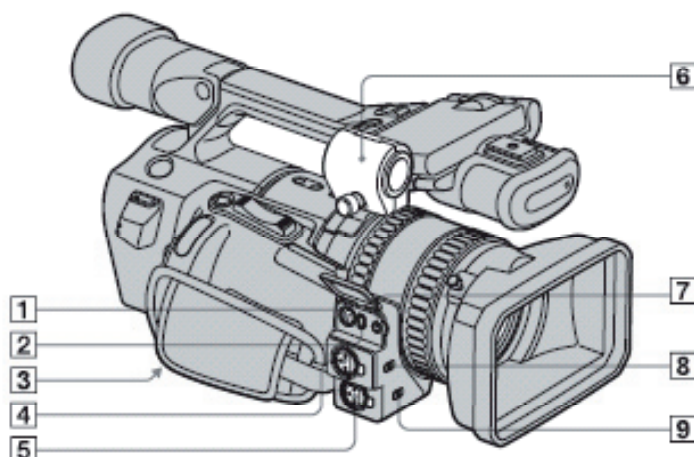
8 Altavoz

9 Objetivo (objetivo Carl Zeiss)

La videocámara está equipada con un objetivo Carl Zeiss capaz de reproducir imágenes de gran calidad.

El objetivo de la videocámara ha sido desarrollado conjuntamente por Carl Zeiss, en Alemania, y Sony Corporation. Adopta el sistema de medida MTF para videocámaras y ofrece una calidad tan excelente como la de un objetivo Carl Zeiss. Además, el objetivo de la videocámara posee protección T* para eliminar los reflejos no deseados y reproducir los colores con fidelidad.

MTF corresponde a Modulation Transfer Function (función de transferencia de modulación). El valor numérico indica la cantidad de luz de un motivo que entra en el objetivo.



- 1 Toma S VIDEO (pág. 55, 57, 95, 98)
- 2 Toma COMPONENT OUTPUT (pág. 55, 57)
- 3 Receptáculo para el trípode
Asegúrese de que la longitud del tornillo del trípode sea inferior a 5,5 mm.
De lo contrario, no podrá fijar con seguridad el trípode y el tornillo podría dañar la videocámara.
- 4 Conector INPUT1 (XLR) (pág. 40, 102)
- 5 Conector INPUT2 (XLR) (pág. 40, 102)
- 6 Soporte para micrófono (pág. 40)
- 7 Toma AUDIO/VIDEO (pág. 55, 57, 95, 98, 102)
- 8 Interruptor de encendido INPUT 1 PHANTOM (pág. 40)
- 9 Interruptor de encendido INPUT 2 PHANTOM (pág. 40)

→ continuación

Todos los controles suelen poder regularse de manera automática o manual, y entre los más importantes podemos encontrar el de enfoque, zum, apertura de iris y velocidad de obturación, aunque si la cámara es más compacta, algunos de ellos están distribuidos en otras partes del equipo. En el objetivo se encuentra también el interruptor de inicio/paro de grabación.

En el cuerpo de la cámara se suelen encontrar los controles que permiten regular el balance de blancos y adecuar los niveles de sonido para la grabación. Muchas de las cámaras actuales permiten acceder a menús con múltiples opciones de configuración y perfiles de grabación parametrizables según condiciones específicas de rodaje. Los equipos más profesionales permiten registrar la configuración en tarjetas de memoria para facilitar su puesta en operación.

Para la puesta en operación de la cámara e iniciar la grabación se han de realizar una serie de comprobaciones y operaciones de puesta a punto que son las siguientes:

- Inserción del soporte de registro y situación en el punto de grabación.
- Comprobación que el sistema de grabación y de registro de código de tiempo es el adecuado.
- Revisión de los controles de la cámara y su grado de automatización o su disposición para su operación manual.
- Realización de balance de blancos y prueba de niveles de entrada de audio.
- Inicio de la grabación. Es muy útil anotar lo que se graba en cada toma y su punto de inicio para facilitar después su recuperación, y se ha de tener en cuenta que será necesario iniciarla un poco antes de que empiece efectivamente la imagen que queremos registrar y acabarla igualmente un poco después, es decir, dejar *colas* de inicio y fin para facilitar luego los procesos de edición.

4.3. LA EDICIÓN DE VÍDEO. INTRODUCCIÓN A *FINAL CUT*

Una vez registradas las imágenes, se ha de proceder a su edición o montaje, es decir, a su ordenación secuencial en función de los intereses narrativos y expresivos que se persiguen.

Los procesos de edición tradicionales suponían un alto coste en tiempo y recursos, ya que al realizarse directamente sobre magnetoscopios analógicos, había que ir recorriendo constantemente las cintas con las imágenes grabadas para buscar los mejores cortes y, una vez grabados sobre la cinta final o *master*, resultaba muy engorroso subsanar cualquier error, pues había de repetirse de nuevo todo el proceso.

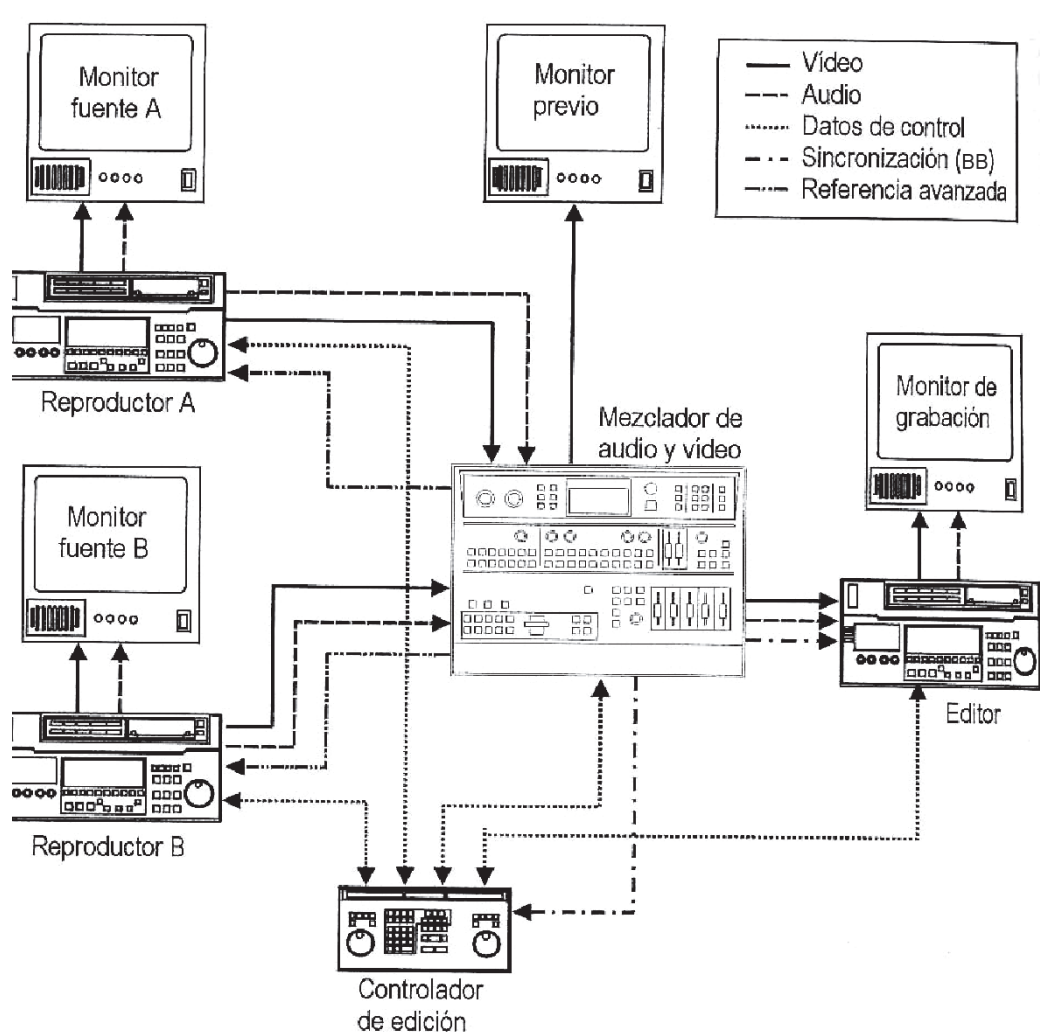


Ilustración 153. Esquema del sistema de edición no lineal (F. Molero)

Los sistemas de edición analógicos, tal como vemos en el gráfico, requerían de varios magnetoscopios de entrada controlados y sincronizados de manera precisa, a los que se podía añadir un procesador de efectos y mezcla que permitiese realizar transiciones entre planos.

Su utilización, afortunadamente, ha quedado obsoleta y ha sido sustituida por los actuales sistemas de tratamiento digital, también llamados *ediciones no lineales*, por permitir el acceso directo a los datos relativos a una secuencia de imagen archivados frente al acceso secuencial que realizaban los sistemas tradicionales o ediciones lineales. Tal como podemos observar, los actuales sistemas permiten el trabajo en grupo y aumentan la productividad de manera notable, facilitando además multitud de operaciones de edición y tratamiento de imagen que resultaban muy poco factibles en los sistemas analógicos tradicionales. La salida del sistema de edición permite la grabación en múltiples formatos, incluidos los clásicos de cinta u otras modalidades de distribución como, por ejemplo, *webcast* o *IP TV*, en función de las prestaciones del sistema y, cómo no, su coste.

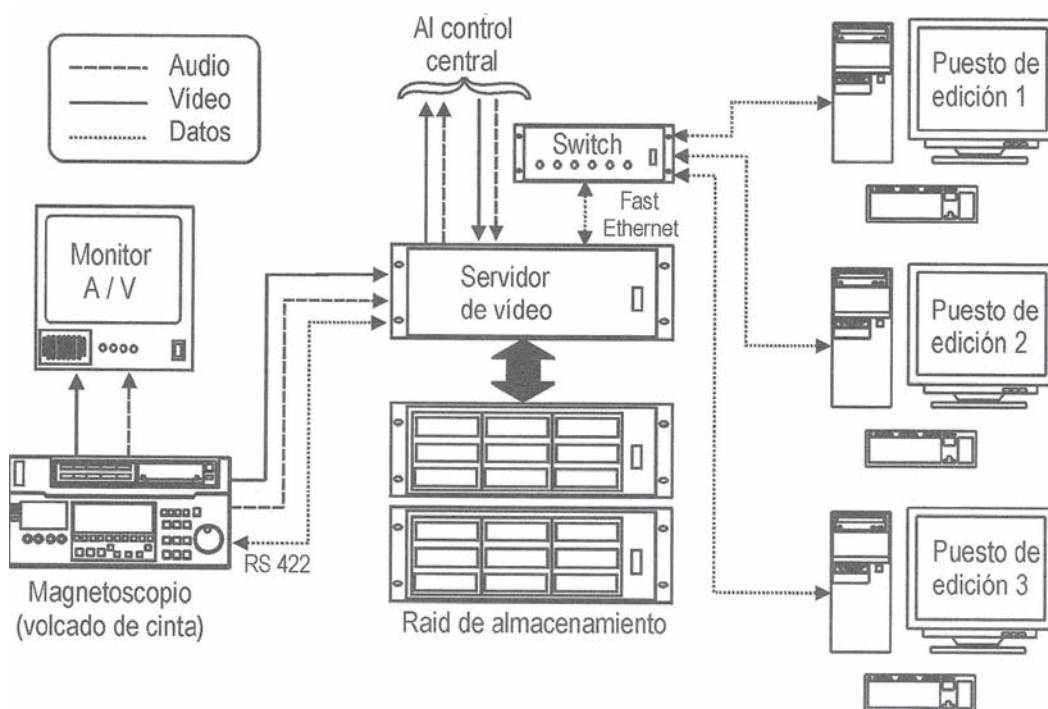


Ilustración 154. Sistema digital basado en servidor

Entre los programas informáticos de edición más populares se encuentra *Final Cut*, que junto a *Avid* y, en menor medida, *Premiere*, dominan el mercado de la edición profesional de video. Este es el aspecto que ofrece la interfaz del programa, aunque puede ser configurada con gran flexibilidad en función del tipo de edición a realizar.



Ilustración 155. Espacio de trabajo del programa *Final Cut*

En la parte superior izquierda podemos observar el clip original grabado de cámara, elegido entre los que se encuentran en la parte inferior, y la parte derecha de la pantalla nos muestra el resultado final y la línea de tiempos con la secuencia de clips incluidos en la edición. *Final Cut* soporta los siguientes formatos de vídeo:

Standard Definition	High Definition
DV, DVCPR0, DVCAM	HDV
DVCPR0 50, IMX	DVCPR0 HD, XDCAM HD
Uncompressed 8- and 10-bit sd	Uncompressed 8- and 10-bit HD

El programa dispone de eficientes herramientas de edición y soporta multitud de efectos y filtros en tiempo real parametrizables, además de permitir la edición de audio de calidad en el mismo programa, con hasta 24 canales de audio.

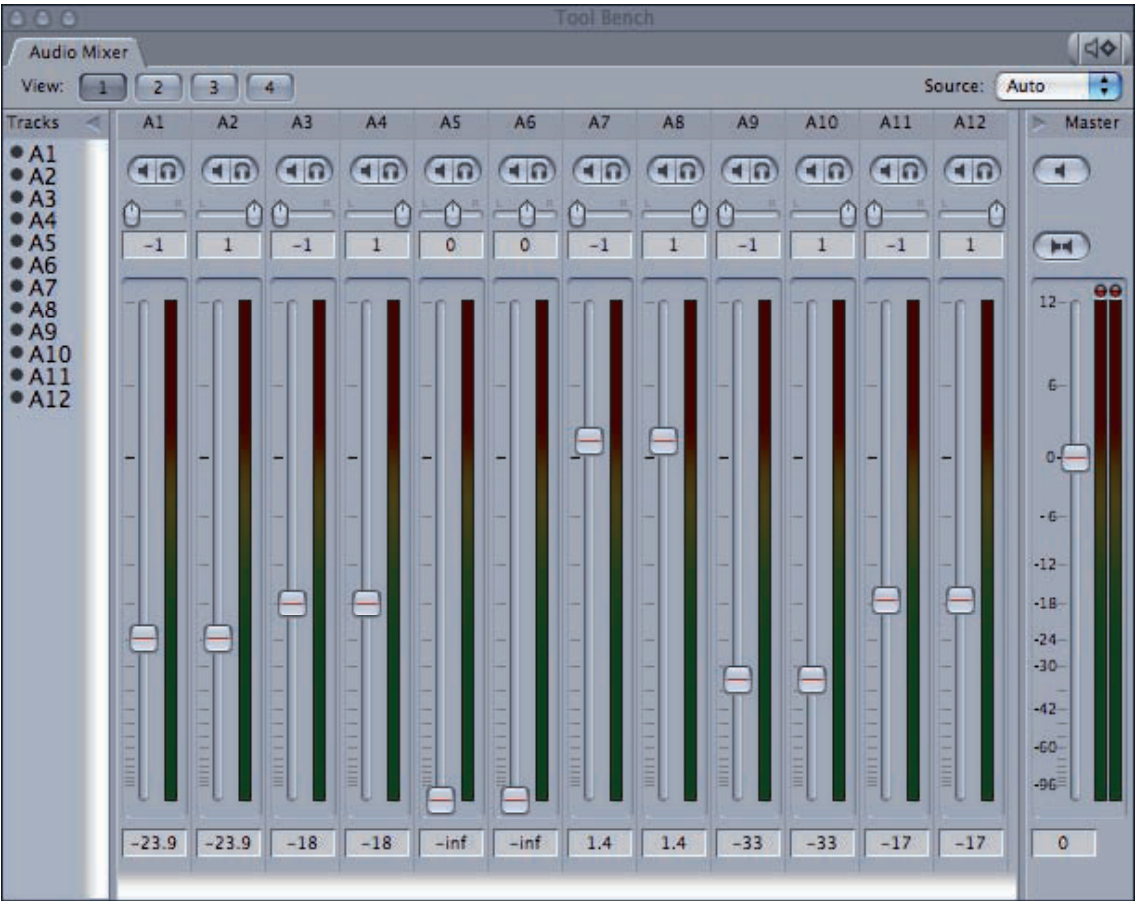


Ilustración 156. Mezcla de sonido en *Final Cut*

El programa permite gran versatilidad y precisión para la distribución multiplataforma, y para ello dispone de diferentes sistemas y formatos de compresión, además de otras herramientas de ayuda a la edición profesional como *Color*, *Motion*, *Soundtrack* o *DvdStudio*, imprescindibles para, por ejemplo, realizar un etalonaje de calidad e, incluso, grabación de sonido multi-canal 5.1 o una masterización a DVD.

Final Cut funciona de manera similar a la mayoría de los editores de vídeo existentes en el mercado, es decir, cada edición se considera un proyecto en el cual se incluyen las grabaciones de cámara, llamados *clips*, una vez son archivos informáticos accesibles en un ordenador, y *brutos*, en el entorno analógico cuando están sólo grabados en cinta magnética. El proyecto se define por parámetros relativos al formato de trabajo e incluye una línea de tiempo, en la que se van insertando las partes de cada clip en el orden decidido conformando una secuencia final como resultado.

Bibliografía

- ALTEN, S. (1994): *El manual del audio en los medios de comunicación*, Andoain (Guipúzcoa), Escuela de cine y vídeo.
- BETHENCOURT, T. (2001): *Televisión digital*, Madrid, Beta.
- BROWN, B. (1992): *Iluminación en cine y televisión*, Andoain (Guipúzcoa), Escuela de cine y vídeo.
- CUENCA, I. y E. GÓMEZ (1995): *Tecnología básica del sonido (I y II)*, Madrid, Paraninfo.
- FÉLIX, E. (2001): *Sistemas de radio y televisión*, Madrid, McGraw-Hill.
- GOLDSTEIN, E. (1984): *Sensación y percepción*, Madrid, Debate.
- HART, D. (2000): *El ayudante de cámara*, Madrid, IORTV.
- JACOBSON, R. y otros (2002): *Manual de fotografía. Fotografía e imagen digital*, Barcelona, Omega.
- LANGFORD, M. (1996): *Tratado de fotografía*, Barcelona, Omega.
- LLORENS, V. (1995): *Fundamentos tecnológicos de vídeo y televisión*, Barcelona, Paidós.
- MAPPE, L. B. (1993): *La película y el laboratorio cinematográfico*, Andoain (Guipúzcoa), Escuela de cine y vídeo.
- MARTÍNEZ DE SOUSA, J. (1992): *Pequeña historia del libro*, Barcelona, Labor.
- MARTÍNEZ, J. y J. SERRA (2000): *Manual básico de técnica cinematográfica y dirección de fotografía*, Barcelona, Paidós.
- MATTELART, A. (1998): *La mundialización de la comunicación*, Barcelona, Paidós.
- MCLUHAN, M. (1996): *Comprender los medios de comunicación*, Barcelona, Paidós.
- MILLERSON, G. (1983): *Técnicas de realización y producción en televisión*, Madrid, IORTV.
- MILLERSON, G. (1994): *Iluminación para televisión y cine*, Madrid, IORTV.
- PÉREZ, C. y J. ZAMANILLO (2003): *Fundamentos de televisión analógica y digital*, Santander, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- RAY, S. (1977): *Las lentes y sus aplicaciones*, Andoain (Guipúzcoa), Escuela de cine y vídeo.
- RUMSEY, F. y T. McCORMICK (2004): *Sonido y grabación. Introducción a las técnicas sonoras*, Madrid, IORTV.
- SAMUELSON, D. (1982): *La cámara de cine y el equipo de iluminación*, Madrid, IORTV.
- WATKINSON, J. (1992): *El arte del vídeo digital*, Madrid, IORTV.
- WHITE, G. (1984): *Técnicas del vídeo*, Madrid, IORTV.

Índice de ilustraciones

1. Onda electromagnética.	21
2. Espectro electromagnético (R. Jacobson).	22
3. Luz visible (R. Jacobson)	22
4. Refracción. Ley de Snell (R. Jacobson).	23
5. Prisma de Newton.	24
6. Refracción de la luz (R. Jacobson).	24
7. Lente convergente y divergente (R. Jacobson).	25
8. Estructura de un objetivo (R. Jacobson).	25
9. Cámara oscura de Kircher, 1646 (M-L. Sougez).	26
10. Estructura del ojo (Pérez y Zamanillo).	27
11. Ley Webber-Fechner.	28
12. Desviación de Purkinje.	28
13. Formación del color (R. Jacobson).	29
14. Sensibilidad espectral humana.	30
15. Praxinoscopio.	32
16. Distribución espectral de diversas fuentes (R. Jacobson).	37
17. Cartas de color Pantone.	38
18. Temperatura de color de diversas fuentes (R. Jacobson).	39
19. Funcionamiento de un filtro.	41
20. Filtros de corrección de color.	41
21. Unidades de iluminación.	42
22. Ley inversa de los cuadros.	43
23. Curva de distribución polar de una fuente de luz.	43
24. Sensibilidad del soporte y emisión espectral de la fuente.	44
25. Equipos de iluminación continua.	44/45
26. Funcionamiento del <i>flash</i>	45
27. Equipo de <i>flash</i> de estudio.	46
28. <i>Flash</i> electrónico de cámara.	46
29. Funcionamiento del <i>flash</i> electrónico.	47
30. Soportes de iluminación en estudio.	48
31. Controles en <i>flash</i> de estudio.	48
32. Símbolos utilizados en diseño de iluminación.	49
33. Esquema de iluminación.	50
34. Accesorios de <i>flash</i>	50
35. Fotómetro de mano.	51
36. Plató fotográfico.	52
37. <i>Punto de vista desde la ventana del Gras</i> , Niépce, 1826 (M-L. Sougez).	53
38. <i>Las Tullerías y el Sena</i> , Daguerre, 1839 (M-L. Sougez).	54
39. <i>Dibujo fotogénico</i> , W. H. Fox Talbot, 1839 (M-L. Sougez).	54
40. <i>Coloso de Ibsambul</i> , Nubia, 1849-1850, calotipo (M-L. Sougez).	55
41. George Eastman con una cámara Kodak, 1890 (M-L. Sougez).	56
42. Teoría de Gurney-Mott de formación de imagen en haluros de plata.	57
43. Sección de una película tradicional en b/n (R. Jacobson).	58
44. Imágenes de uso científico.	59
45. Banda de conducción del bromuro de plata (R. Jacobson).	59
46. Sensibilidad cromática (R. Jacobson).	60
47. Sensibilidad cromática en una película tradicional.	61
48. Sensibilidad del sensor ccd (R. Jacobson).	61
49. Curva de H&D (R. Jacobson).	62
50. Contraste en distintos tipos de papel de copia tradicional.	63
51. Sistema ISO de medición de la sensibilidad (R. Jacobson).	64

52. Sensibilidad ISO/DIN.	64
53. Sistema aditivo de formación de color.	65
54. Sistema sustractivo de formación de color.	66
55. Proceso fotoquímico en película tradicional en color.	67
56. Negativo y copia en color.	67
57. Proceso de color <i>Cibachrome</i>	68
58. Revelado negativo y diapositiva b/n (M. Langford).	69
59. Revelado negativo y diapositiva color (M. Langford).	70
60. Esquema del funcionamiento óptico de la ampliadora (R. Jacobson).	70
61. Esquema del funcionamiento de un <i>minilab</i>	71
62. Alternativas de copiado (R. Jacobson).	72
63. Esquema del funcionamiento de un escáner.	72
64. Captura de imagen en color con células fotosensibles (R. Jacobson).	74
65. Funcionamiento condensador MOS.	75
66. Transporte de cargas en CCD.	75
67. Tipos de CCD.	76
68. Sensor <i>FOVEON</i>	78
69. Varios tipos de sensores (R. Bouillot).	79
70. Cobertura de la lente en soporte sensible (R. Jacobson).	80
71. Proceso de digitalización.	82
72. Espacio de trabajo de Adobe photoshop cs3.	90
73. Efecto molinillo.	90
74. Ventana de canales de color.	91
75. Histograma.	91
76. Curvas.	92
77. Espacios de color de diversos dispositivos.	93
78. Gestión de perfiles de color en Adobe potoshop cs3.	93
79. Sistema de composición por capas en Adobe Photoshop.	94
80. Ventana de capas.	94
81. Cuadro de herramientas.	95
82. Herramientas de selección.	96
83. Herramientas de recorte y creación de sectores.	96
84. Herramientas de retoque.	97
85. Herramientas de pintura.	98
86. Herramientas de dibujo y texto.	99
87. Herramientas de anotación y medida.	99
88. Esquema del funcionamiento de una impresora láser.	100
89. Sistema de procesamiento digital.	101
90. Impresora de inyección de tinta de gran formato.	102
91. Ajustes de impresión en Adobe Photoshop cs3.	102
92. Parámetros en onda sonora (Pérez y Zamanillo).	106
93. Interrelación de ondas (S. R. Alten).	107
94. Sonidos y ruido.	107
95. Frecuencias de armónicos (S. R. Alten).	108
96. Velocidad de propagación del sonido en distintos medios (Pérez y Zamanillo). ...	108
97. Absorción de distintos materiales a diversas frecuencias (S. R. Alten).	109
98. Reflexiones de la onda sonora (S. R. Alten).	109
99. Reverberación de distintos espacios (S. R. Alten).	110
100. Esquema del oído humano (Goldstein).	111
101. Órganos internos de audición (Pérez y Zamanillo).	111
102. Estructura de la cóclea.	112

103. Resonancia de la cóclea ante distintas longitudes de onda.	112
104. Espacio auditivo (Pérez y Zamanillo).	113
105. Escucha humana (S. R. Alten).	114
106. Intensidad sonora de distintas fuentes (S. R. Alten).	114
107. Diferencias auditivas de género y edad (Pérez y Zamanillo).	115
108. Distribución del espectro sonoro en octavas (S. R. Alten).	115
109. Envolvente sonora (S. R. Alten).	116
110. Esquema del sistema de producción y distribución de audio (S. R. Alten).	118
111. Conversión analógica/digital (E. Moreno).	119
112. Micrófono de bobina móvil (S. R. Alten).	120
113. Micrófono de condensador.	120
114. Micrófono <i>electret</i>	121
115. Efecto de proximidad (S. R. Alten).	121
116. Diagramas polares de los micrófonos (S. R. Alten).	122
117. Soporte accesorio móvil para microfonía.	123
118. Esquema del proceso de la mesa de mezclas (F. Molero).	124
119. Esquema del canal de entrada de la mesa de mezclas (S. R. Alten).	125
120. Ecualización. Factor Q (F. Molero).	125
121. Esquema de entrada y salida de efectos en la mesa de mezclas (S. R. Alten). ...	126
122. Detalle completo de los controles de procesado en la mesa de mezclas (S. R. Alten). .	127
123. Sección de altavoz (Cuenca y Gómez).	128
124. Distintos tipos de caja acústica (F. Molero).	129
125. Sistema de sonido 5.1 (F. Molero).	130
126. Esquema del sistema de lectura/grabación de un cd/dvd.	131
127. Grabación magnética (F. Molero).	131
128. Grabación en <i>minidisc</i> (S. R. Alten).	132
129. Grabación en disco duro.	132
130. Espacio de trabajo del programa <i>Logic Pro</i>	133
131. Detalle de pista en <i>Logic Pro</i>	134
132. Mezcla y distribución del espacio sonoro en <i>Logic Pro</i>	134
133. Espacio de trabajo en <i>Soundtrack</i>	135
134. Esquema del proceso de producción y radiodifusión (F. Molero).	136
135. Frecuencias de emisión de radio (F. Molero)	136
136. Esquema de una cabina de locución y un estudio radiofónico (S. R. Alten).	137
137. Campo eléctrico y magnético en una onda de emisión electromagnética (F. Molero). .	137
138. Modulación AM y FM.	138
139. <i>El galope de la yegua Sallie Gardner</i> , Muybrigde, 1978 (M-L. Sougez).	140
140. Sistema mecánico de tv de Nipkow, 1884 (Pérez y Zamanillo).	141
141. Exploración entrelazada de la imagen.	142
142. Tubos de imagen.	142
143. Señal de la carta de ajuste (F. Molero).	143
144. Esquema de la señal de una línea de tv.	144
145. Bloque de captura en una cámara de color (F. Molero).	144
146. Codificación de vídeo compuesto (White).	144
147. Esquema del objetivo y del ccd.	145
148. Esquema completo de la captura de imagen de una cámara de vídeo (F. Molero). .	145
149. Codificación digital.	146
150. Grabación en cinta en el sistema DVCAm.	148
151. Sistema digitales de vídeo.	149
152. Grabación en HDV.	149
153. Esquema del sistema de edición no lineal (F. Molero).	156

154. Sistema digital basado en servidor.	157
155. Espacio de trabajo del programa <i>Final Cut</i>	157
156. Mezcla de sonido en <i>Final Cut</i>	158